Mémoire n° 87

FERTILISATION DE PLANTATIONS DE SAPIN BAUMIER CULTIVÉ POUR LA PRODUCTION D'ARBRES DE NOËL

I-Essais au moment de la plantation

par

J.-M. Veilleux

recherche

Québec

86-04180/

JEAN-MARC VEILLEUX est bachelier ès sciences appliquées (foresterie) de l'université Laval depuis 1965 et maître ès sciences forestières de la même institution depuis 1975. En 1965, il entrait à la division des sols de l'ancien Bureau de sylviculture et de botanique du ministère des Terres et Forêts du Québec et, en 1967, il passait au Service de la recherche, à titre de chargé de recherches en fertilité des sols et reboisement.

Depuis de nombreuses années, chacun des *Mémoires* et des autres rapports publiés par le Service est révisé par un comité *ad hoc* d'au moins trois membres recrutés aussi bien à l'intérieur du Ministère que dans le milieu universitaire, la fonction publique fédérale ou les autres milieux de la recherche. Les responsables du Service remercient les scientifiques qui ont accepté bénévolement de revoir le texte présenté ici et de participer ainsi à la diffusion des résultats des recherches menées au ministère de l'Énergie et des Ressources.

FERTILISATION DE PLANTATIONS DE SAPIN BAUMIER CULTIVÉ POUR LA PRODUCTION D'ARBRES DE NOËL

I - ESSAIS AU MOMENT DE LA PLANTATION

par

JEAN-MARC VEILLEUX, ing.f., M.Sc.

avec la collaboration technique de

YVON LÉVESQUE, tech.f.

MÉMOIRE N° 87

SERVICE DE LA RECHERCHE
MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE ET DES RESSOURCES
1985

Ce texte constitue un rapport partiel du projet de recherches TS 77-1

ISBN 2-550-12221-6
Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier MM. Emery Lanctôt et Yvan Lanctôt de Compton ainsi que M. Jean-Marie Lettre de Stanstead pour avoir mis gratuitement à notre disposition les terrains utilisés pour nos plantations et pour la bienveillante collaboration démontrée au cours de la réalisation de ces essais.

Nos remerciements s'adressent aussi au personnel de la région administrative de l'Estrie, particulièrement aux ingénieurs forestiers MM. Jean Dumoulin et Jean-Guy Houde, pour leur contribution à la bonne marche de ce projet.

Enfin, nous sommes particulièrement redevables au personnel du Service de la recherche: au Dr Yvon Richard, ing.f., pour les traitements statistiques des données; à M. Raymond Castonguay, technicien en arts graphiques, qui a préparé les figures, et à Mlle Nicole Durand pour la dactylographie des textes.

1984

RÉSUMÉ

Des essais de fertilisation au moment de la plantation de sapin baumier cultivé pour la production d'arbres de Noël, démontrent que les taux de survie décroissent avec l'augmentation des doses d'engrais azotés. L'apport de cet élément accroît le stress des jeunes plants nouvellement mis en terre; ainsi les applications d'azote doivent être évitées au cours de la période d'établissement de la plantation.

La couleur et la longueur des aiguilles n'ont à peu près pas été affectées par les traitements d'engrais au cours des trois premières saisons de croissance, même si l'analyse chimique des feuilles montre clairement que les éléments appliqués ont été absorbés, sauf pour l'azote. Les croissances de la flèche terminale et des ramilles terminales et adventives n'ont été affectées par la fertilisation qu'à compter de la troisième année, surtout à la suite des traitements répétés sur une base annuelle. Le phosphore favorise la formation des bourgeons, particulièrement le nombre de bourgeons adventifs.

À la lumière de ces résultats, il serait plus avantageux de corriger, lorsque nécessaire, le pH ainsi que les teneurs en phosphore, potassium et magnésium avant la plantation, lors de la préparation du sol; ces engrais seront préférablement enfouis. Sinon, les amendements de surface au moment de la plantation seront limités à des doses minimales de 20 g par plant de phosphore et à 10 g par plant de potassium. Autant que possible, les engrais contiendront certains autres éléments essentiels tels que le magnésium, le manganèse, le bore, etc.

L'azote pourra ensuite être appliqué au début de la troisième saison de croissance au taux de 10 g par plant. À ce moment-là, les additions de phosphore et de potassium seront limitées à 5 à 10 g par plant. Les engrais utilisés devront favoriser la formation des bourgeons et le développement de leurs ramilles sans croissance exagérée au niveau de la flèche terminale, afin d'assurer une plus grande densité de la cime.

Les plants mis en terre sur des sols de propriétés physico-chimiques supérieures ont montré un meilleur rendement quant à leur taux de survie, leur facilité d'établissement et leur croissance. Une déficience en magnésium semble générale pour les sols de la région. Les sols trop secs, acides et sablonneux sont à éviter pour la culture du sapin; les loams sableux, frais et bien drainés, à pH 6,0 sont préférables.

ABSTRACT

Fertilization trials, at the time of planting balsam fir grown for Christmas trees, show that survival rates diminish as nitrogen doses are increased. Adding this element increases stress on the recently planted seedlings; thus nitrogen additions should be avoided during the establishment period in a plantation.

Color and length of the needles were negligibly affected by fertilizers during the first three growing seasons, even if chemical analysis of foliage clearly shows that the added elements were absorbed, except for nitrogen. Growths of terminal spire and of terminal and adventive twigs were not affected by fertilization before the third year, specially following repeated annual treatments. Phosphorus fosters bud formation, specially the number of adventive buds.

Following these results, it would be more advantageous to correct, when necessary, pH as well as phosphorus, potassium, and magnesium contents before planting, when preparing soils; these fertilizers should preferably be buried. Otherwise, surface additions at planting time should be limited to minimal doses of 20 g of phosphorus and 10 g of potassium per seedling. If possible, fertilizers should bring other essential elements like magnesium, manganese, boron, etc.

Nitrogen could then be added at the beginning of the third growing season at a rate of 10 g per seedling. From then on, phosphorus and potassium doses shall be restricted to 5 to 10 g per seedling.

Types of fertilizers used should foster bud formation and twig development without excess growth of the terminal spire, in order to ensure a better density of the crown.

Seedlings planted in soils with superior physico-chemical characters have shown a better yield as regards survival rate, ease of establishment, and growth. A magnesium deficiency seems to be the rule for the soils in this region. Too dry, acidic and sandy soils should be avoided when growing fir; cool, well-drained sandy loams with a pH of 6,0 are preferable.

TABLE DES MATIÈRES

	page
REMERCIEMENTS	iii
RÉSUMÉ	v
ABSTRACT	vii
TABLE DES MATIÈRES	ix
LISTE DES TABLEAUX	xi
LISTE DES FIGURES	xiii
LISTE DES ANNEXES	xv
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I - REVUE DE LITTÉRATURE	3
CHAPITRE II - MATÉRIEL ET MÉTHODES EXPÉRIMENTALES	7
2.1 Caractéristiques des stations	7
2.2 Dispositifs expérimentaux	9
2.2.1 Plantation	9
2.2.2 Fertilisation	10
2.3 Études sur la formation et la croissance annuelles de certaines caractéristiques de l'arbre	10
2.4 Études sur le feuillage	12
2.5 Analyses statistiques	14

page

CHAPITRE III - RÉSULTATS ET DISCUSSION 15

3.1 Taux de survie 15

3.2 Études sur le feuillage 18
3.2.1 Couleur des aiguilles 18
3.2.2 Longueurs des aiguilles 19
3.2.3 Teneurs des feuilles en éléments nutritifs . . 20

3.3 Études sur la croissance 26
3.3.1 Croissance de la flèche terminale 26
3.3.2 Croissance des ramilles latérales-terminales du verticille 29
3.3.3 Accroissements des ramilles adventives 30

3.4 Études sur la formation des parties de la cime . . . 31
3.4.1 Nombre de ramilles latérales-terminales par verticille 31
3.4.2 Nombre de ramilles adventives 33
3.4.3 Nombre de bourgeons apicaux 33
3.4.4 Nombre de bourgeons adventifs 34
3.4.5 Nombre de bourgeons adventifs par centimètre de flèche terminale 35

CONCLUSION 37

RECOMMANDATIONS 41

BIBLIOGRAPHIE 47

ANNEXES 49

LISTE DES TABLEAUX

		page
Tableau 1	Description et analyses physico-chimiques des sols des plantations de sapin baumier cultivé pour la production d'arbres de Noël	8
Tableau 2	Traitements de fertilisation au moment de la plantation	11
Tableau 3	Taux moyens de survie obtenus après 3 ans dans les essais de fertilisation au moment de la plantation .	16
Tableau 4	Longueurs moyennes des aiguilles de l'année courante obtenues à la fin de la deuxième saison de croissance après traitements	20
Tableau 5	Concentrations moyennes (p. 100) en éléments nutritifs des aiguilles de l'année courante du sapin baumier, à la fin de la deuxième saison de croissance après traitements	21
Tableau 6	Variations des concentrations moyennes (p. 100) des éléments nutritifs des aiguilles de l'année courante, entre les deuxième et troisième saisons de croissance après fertilisation	23
Tableau 7	Accroissements annuels et totaux (cm) de la flèche terminale, des ramilles latérales-terminales et adventives, obtenus au cours des trois premières saisons de croissance après fertilisation	27
Tableau 8	Formation des parties de la tige (nombre/tige) pour les bourgeons apicaux et adventifs, les ramilles latérales-terminales et adventives	32

LISTE DES FIGURES

page

Figure 1 Identification des composantes de la tige qui ont été mesurées 13

Figure 2 Variations des concentrations moyennes des éléments nutritifs des aiguilles de l'année courante du sapin baumier, à la fin de la deuxième saison de croissance après fertilisation et à la suite des traitements d'engrais simples 24

Figure 3 Plantation effectuée à la pelle avec des espacements de 1,83 mètre entre les rangées et de 1,52 mètre entre les plants d'une même rangée 43

Figure 4 Aspect de la plantation au début de la première saison de croissance, après l'utilisation d'un herbicide composé de simazine et d'atrazine 43

Figure 5 Plant repiqué (2-3) nouvellement mis en terre, d'une hauteur moyenne de 18,4 cm 44

Figure 6 Un jeune arbre de Noël à la fin de sa troisième saison de croissance en plantation; à Compton, il atteint une hauteur moyenne de 46,3 cm (36,6 à 59,6 cm) comparativement à 59,5 cm (49,4 à 74,1 cm) à Stanstead 44

Figure 7 La plantation Emery Lanctôt (Compton) après sept saisons de croissance présente des arbres qui atteignent 1,60 mètre de hauteur, de densité moyenne (branches et aiguilles) et dont la forme montre une conicité normale 45

Figure 8 La plantation J.-M. Lettre (Stanstead) après sept saisons de croissance, exhibe des arbres qui dépassent 1,80 mètre, de densité abondante, d'un feuillage vert foncé et d'une conicité forte 45

LISTE DES ANNEXES

page

Annexe 1 Taux moyens de survie (p. 100) obtenus après 3 ans. Résultats combinés par endroit et pour les quatre plantations 50

Annexe 2 Longueurs moyennes (mm) des aiguilles de l'année courante, obtenues dans l'ensemble des quatre plantations, à la fin de la deuxième saison de croissance . . 51

Annexe 3 Concentration moyenne (p. 100) en éléments nutritifs des aiguilles de l'année courante du sapin baumier, à la fin des deuxième et troisième saisons de croissance après fertilisation, selon les traitements d'engrais. Résultats moyens des quatre plantations 52

Annexe 4 Sommation des accroissements (cm) et de la formation des bourgeons et ramilles (nombre/cime) au cours des trois premières années qui ont suivi la fertilisation. Résultats moyens des quatre plantations 54

INTRODUCTION

Au cours des dix dernières années, le sapin baumier (*Abies balsamea* (L.) Mill.) est devenu l'essence la plus populaire pour la production d'arbres de Noël au Québec. Les données du Service des pépinières et du reboisement du ministère de l'Énergie et des Ressources révèlent qu'en 1972, 59 400 plants étaient produits tandis qu'en 1982, les pépinières provinciales en produisaient 2 844 000 plants. Cette popularité du sapin s'est réalisée au détriment du pin sylvestre dont la production est passée de 1 292 000 à 215 000 plants au cours de la même période (R. Lamarre, 1983).

Les dommages importants et irréparables observés dans de nombreuses plantations de pin, attribuables à la cécidomyie du pin sylvestre et à la rouille, ont certes contribué à cette baisse importante de popularité. Entre temps, le sapin baumier devenait l'essence préférée des consommateurs et particulièrement des grands marchés américains d'exportation. Cette essence, caractérisée par son odeur agréable, montre un feuillage dense, vert foncé et surtout d'une excellente persistance lorsqu'on la place à l'intérieur d'une maison; de plus, ses branches gardent bien les décorations (Stiell et Stanton, 1974). Le sapin a l'avantage de pouvoir être taillé en toute saison sauf en mai et juin, même si on conseille de l'effectuer en fin de juillet-début d'août parce qu'à ce moment, la taille est plus facile et moins dispendieuse.

Malheureusement, les connaissances portant sur la physiologie du sapin baumier et sur ses besoins en éléments nutritifs sont

encore très réduites de nos jours. Même si les pépinières provinciales le produisent depuis le début des années soixante-dix, les 2 800 000 plants de 1982 représentent moins de 5 p. 100 de leur production totale. Cette faible importance du sapin pourrait peut-être expliquer le manque d'intérêt démontré à l'égard de ses exigences en relation avec sa nutrition.

C'est au printemps 1977, à la demande de la région de l'Estrie, que le Service de la recherche (Terres et Forêts) entreprenait des essais de fertilisation dans des plantations de sapin baumier cultivé pour la production d'arbres de Noël. Ce projet visait à:

1) produire des arbres de Noël de qualité supérieure;

2) déterminer les conditions nutritives et les besoins en fertilisants chez le sapin baumier planté en vue de la production d'arbres de Noël;

3) établir un calendrier de fertilisation qui serait le plus profitable pour le développement des arbres de Noël à partir de la plantation;

4) étudier les effets possibles des engrais sur la forme des arbres et la coloration des aiguilles, sur la stimulation de la croissance des branches adventives et sur la formation et le développement des bourgeons adventifs et apicaux;

5) raccourcir éventuellement la période de production.

Les résultats obtenus, en ce qui concerne les effets de la fertilisation au moment de la plantation, sur les différentes parties de la cime du sapin baumier, sont consignés dans le présent rapport. Ces essais ont été tentés dans des plantations de diverses localités de la région de l'Estrie.

CHAPITRE I

REVUE DE LITTÉRATURE

La culture des arbres de Noël cause inévitablement un appauvrissement des sols parce que la grande quantité d'éléments prélevés par les arbres au cours de leur croissance est exportée avec le produit au lieu d'être recyclée. Afin de compenser ces pertes d'éléments et de maintenir la fertilité de ces sols en vue des cultures ultérieures, il est nécessaire d'amender les sols à l'aide de fumures organique et chimique.

Dumoulin (1974) mentionne que le sapin baumier pousse bien à l'état naturel ou en plantation un peu partout au Québec, de préférence dans des sols riches, acides et bien drainés. Dans le cas de plantations effectuées sur des sols abandonnés et ruinés par l'agriculture, l'apport d'éléments par la fertilisation est essentiel pour corriger les déficiences et d'assurer le développement normal des arbres.

Le rapport de Dirkman (1977) montre que des pratiques culturales comme la répression des mauvaises herbes, la taille des arbres et leur mise en forme améliorent la qualité du sapin baumier cultivé pour la production d'arbres de Noël.

Toutefois, Bruns (1973) démontre que la fertilisation affecte davantage la qualité d'un arbre de Noël sur plusieurs aspects. Ainsi, des traitements d'azote seul ou combiné au phosphore et au potassium ont produit un feuillage plus dense, aux teintes vertes plus foncées, avec des aiguilles de plus grandes dimensions (longueur et largeur). Ces engrais influencent la croissance de la flèche terminale, favorisent la formation des bourgeons adventifs et améliorent la croissance des branches terminales, latérales et adventives. Il en ressort que l'on peut produire des arbres de qualité supérieure dans un laps de temps plus court. De plus, Saunders et Wright (1967) font remarquer que les arbres fertilisés retiendraient leurs aiguilles plus longtemps après la coupe et qu'ils seraient moins affectés par le gel. Embree et Estabrooks (1981) ont obtenu des aiguilles plus longues de 1 à 5 mm par l'addition de nitrate d'ammonium, ce qui peut se traduire théoriquement par un accroissement d'environ 10 p. 100 de la densité du feuillage et même jusqu'à 20 p. 100 si l'on tient compte de l'effet des engrais sur les augmentations du nombre de bourgeons adventifs et de croissance des pousses qui en découlent.

Timmer *et al.* (1977) font ressortir un effet positif de l'engrais azoté sur la grosseur des bourgeons terminaux dès la première année; au cours de la saison suivante, ils observent un plus grand nombre de bourgeons apicaux et latéraux. Les réactions ne montrent toutefois aucune différence significative entre les taux d'application d'azote, ce qui démontre l'inutilité d'appliquer de fortes doses d'engrais azotés pour des fins culturales à court terme.

Il faut cependant noter que la plupart de ces travaux ont été réalisés avec de jeunes peuplements naturels aménagés, âgés de 8 à 15 ans et dont la hauteur dépassait 1,0 mètre. Seul Bruns (1973) fait exception puisqu'une partie de sa recherche a été effectuée dans des plantations pré-établies à partir de sauvageons et dont la hauteur au début des essais atteignait presque 1,5 mètre. D'ailleurs, Embree et Estabrooks (1981) font ressortir que de 20 à 30 p. 100 des arbres traités en milieu naturel n'auront aucune réaction à la fertilisation

parce qu'ils croissent dans des situations souvent différentes, contrairement aux plantations établies sur des terres cultivées.

De plus, nous n'avons pu trouver de résultats de travaux traitant des effets des engrais appliqués au moment de la plantation du sapin baumier. Une expérience de fertilisation sur une plantation cultivée de pin à longues aiguilles (*Pinus palustris* Mill.), conduite par Hughes *et al.* (1971), démontre l'effet bénéfique du phosphore sur le taux de survie, le développement des bourgeons et la croissance dès la première année. Les applications d'azote auraient diminué le taux de survie et n'auraient eu que peu d'effet sur la croissance au cours des premières années.

À cause du peu de données disponibles sur la fertilité du sapin en plantation et des effets des engrais sur son développement lorsqu'on le cultive pour la production d'arbres de Noël, un projet de recherche a donc été entrepris. Il vise à étudier les effets d'applications d'engrais azotés avec ou sans phosphore et potassium au moment de la plantation. La description des stations ainsi que celle des méthodes expérimentales sont contenues dans le chapitre qui suit.

CHAPITRE II

MATÉRIEL ET MÉTHODES EXPÉRIMENTALES

2.1 CARACTÉRISTIQUES DES STATIONS

La demande provenant de la région administrative de l'Estrie, tous les sites expérimentaux ont été choisis dans ce territoire. Pour réaliser ces essais, nous avons pu compter sur la collaboration des propriétaires producteurs qui nous ont alloué gracieusement les superficies nécessaires pour effectuer les plantations. Ces terres sont situées à proximité des municipalités de Compton et de Stanstead au sud de la ville de Sherbrooke.

Toutes les plantations ont été établies sur d'anciennes terres cultivées. Selon la classification forestière de Rowe (1972), elles se situent dans la section des Cantons-de-l'Est (L.5) de la région forestière des Grands-Lacs-et-du-Saint-Laurent. Les sols sont formés de tills bien ou modérément bien drainés, des classes texturales sables loameux et loams sableux. L'ensemble du territoire à relief ondulé ne dépasse pas 500 mètres d'altitude. La pente des terrains varie de très légère à légère (1 à 5 p. 100). Les propriétés physico-chimiques particulières aux sols de chaque plantation sont exprimées au tableau 1.

Tableau 1

Description et analyses physico-chimiques des sols[1] des plantations de sapin baumier cultivé pour la production d'arbres de Noël
(Résultats exprimés pour la terre fine < 2 mm)

Plantation		Fertilisation	Analyses chimiques[2]									Analyse granulométrique			
Endroit	Année	Année	Horizon	Azote p. 100	Mat. org. p. 100	C/N	pH	Phosph. disp. kg/ha	Cations échangeables kg/ha			Sable p. 100	Limon p. 100	Argile p. 100	Classe texturale
									Mg	K	Ca				
E. Lanctôt	1977	1977	Ap	0,15	3,77	14,5	5,0	230	5	80	220	78	17	5	Sable loameux
			C	0,10	2,50	14,5	5,3	170	5	45	150	83	12	5	Sable loameux
	1978	1978	Ap	0,06	2,61	25,2	4,7	175	12	115	145	76	18	6	Sable loameux
			C	0,03	1,35	26,0	4,9	135	5	60	85	84	12	4	Sable loameux
J.-M. Lettre	1977	1977	Ap	0,13	4,95	22,1	6,4	125	106	45	3 212	54	39	7	Loam sableux
			C	0,12	1,83	8,8	6,6	120	55	18	1 265	58	36	6	Loam sableux
	1978	1978	Ap	0,15	3,82	15,6	5,9	60	45	96	2 720	48	42	10	Loam sableux
			C	0,04	0,94	14,5	5,6	45	15	60	510	52	40	8	Loam sableux

[1] Les sols ont été échantillonnés au printemps, quelques jours avant la fertilisation; les résultats sont des moyennes de 10 profils de sol.
[2] Les résultats exprimés en kg/ha sont basés sur une densité de 1,5 g/cm^3 sur une profondeur de 15 cm.

Le territoire jouit d'un climat tempéré humide de type continental. La température moyenne de janvier, mois le plus froid, se situe à -11°C; celle de juillet, mois le plus chaud, atteint 18°C. La longueur de la saison sans gel varie de 100 à 130 jours. Il tombe annuellement 100 cm d'eau en moyenne dont 25 à 30 p. 100 sous forme de neige (Anonyme, 1976).

Les plantations sont plus précisément situées comme suit:

a) Terre de M. Emery Lanctôt de Compton, à 20 km au sud-est de Sherbrooke, canton de Compton, district électoral de Saint-François, latitude nord 45°22', longitude ouest 71°50'.

b) Terre de M. Jean-Marie Lettre de Stanstead, à 40 km au sud de Sherbrooke, canton de Stanstead, district électoral d'Orford, latitude nord 45°05', longitude ouest 72°05'.

2.2 DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Au total, quatre dispositifs ont été établis pour les quatre essais de fertilisation au moment de la plantation, à raison de deux par année (1977-1978), chacun comportant 2 000 sapins baumiers mis en terre chez MM. Emery Lanctôt à Compton et Jean-Marie Lettre à Stanstead.

L'entente avec les propriétaires stipulait que leurs responsabilités pour la durée de nos essais (trois ans) étaient la répression et la fauche des mauvaises herbes ainsi que l'emploi d'insecticides. L'établissement du dispositif expérimental, la plantation, la fertilisation, les mesures et la prise de données étaient à la charge du personnel du Service de la recherche.

2.2.1 PLANTATION

C'est la pépinière de Duchesnay qui a produit les plants destinés à nos essais. En 1977, les plants repiqués (2-3) étaient identifiés à la provenance 70-H-13-005, canton de Gosford. Les plants utilisés en 1978, repiqués (2-3), provenaient de 70-K-85-009, canton de Marlow. Tous ces plants appartenaient à la classe de hauteur 15-35 cm.

L'extraction en pépinière avait eu lieu le plus tôt possible au printemps. Après une légère taille des racines, les plants ont été emballés de la manière habituelle, c'est-à-dire attachés par paquets de 25 plants et mis en ballots de façon à ce que les aiguilles soient exposées à l'air tandis que les racines étaient recouvertes de sphaigne humide avant d'être enveloppées de papier ciré et de jute. Transportés dès que possible sur les sites de reboisement, les plants étaient gardés au frais et à l'abri, dans un caveau, pendant quelques jours, jusqu'au moment d'être plantés.

L'espacement utilisé a été de 1,8 mètre entre les rangées et de 1,5 mètre entre les plants d'une même rangée, la plantation étant faite avec une pelle.

2.2.2 FERTILISATION

Dans chaque plantation, 50 traitements de fertilisation ont été appliqués (tableau 2). Les traitements ont été répétés par blocs (8 répétitions) à l'intérieur desquels la distribution des traitements est aléatoire. Pour chaque répétition d'un traitement donné, cinq arbres consécutifs d'une même rangée sont fertilisés. Les engrais ont été appliqués le plus tôt possible au printemps, autour du pied de l'arbre, en évitant de fertiliser trop près de la tige.

Dans l'ensemble, les traitements de fertilisation pourraient se subdiviser en deux groupes distincts; d'abord, ceux des engrais simples dans lesquels le taux par plant en grammes de chaque élément a été déterminé et, ensuite, les engrais commerciaux à formule complète, tels qu'ils sont vendus sur le marché. Tous ces engrais simples ou mixtes sont énumérés au tableau 2.

2.3 ÉTUDES SUR LA FORMATION ET LA CROISSANCE ANNUELLES DE CERTAINES CARACTÉRISTIQUES DE L'ARBRE

La formation et la croissance annuelles de certaines parties de la tige de chaque arbre ont été observées chaque automne au

Tableau 2

Traitements de fertilisation au moment de la plantation

N° du traitement[1]	Élément - g/plant N-P-K	Engrais[2] simples	N° du traitement	Quantité d'engrais g/plant	Engrais[3] commercial $N-P_2O_5-K_2O$
1	0- 0- 0	Témoin	26	50	10-10-10+
2	10- 0- 0	An	27	100	10-10-10+
3	40- 0- 0	An	28	200	10-10-10+
4	0-10- 0	T	29	400	10-10-10+
5	0-20- 0	T	30*	100	10-10-10+
6	0-40- 0	T	31	50	7-27-12+
7	0- 0-10	Km	32	100	7-27-12+
8	0- 0-20	Km	33	200	7-27-12+
9	10-20- 0	An, T	34	400	7-27-12+
10	10-20-10	An, T, Km	35*	100	7-27-12+
11	10-40-10	An, T, Km	36	50	7-27-12
12	20-40-10	An, T, Km	37	100	7-27-12
13	10-10-10	An, T, Km	38	200	7-27-12
14	20-20-20	An, T, Km	39	400	7-27-12
15	40-40-40	An, T, Km	40*	100	7-27-12
16*	20-20-20	An, T, Km	41	50	5-18-10+
17*	10-20-10	An, T, Km	42	100	5-18-10+
18*	20-40-10	An, T, Km	43	200	5-18-10+
19	20-20-10	An, T, Km	44	400	5-18-10+
20[4]	(20)-20-10	An, T, Km	45*	100	5-18-10+
21[5]	(20)-20-10	An, T, Km	46	50	13-13-13+
22	10-20-10	U, T, Ks	47	100	13-13-13+
23	20-40-10	U, T, Ks	48	200	13-13-13+
24*	10-10-10	U, T, Ks	49	400	13-13-13+
25*	20-20-20	U, T, Ks	50*	100	13-13-13+

[1] Les traitements marqués d'un astérisque ont été répétés au printemps des deuxième et troisième saisons de croissance.

[2] Engrais simples: Azote : An, nitrate d'ammonium, NH_4NO_3, 34 p. 100 d'N
U, urée, 46 p. 100 d'N
Phosphore: T, superphosphate triple, 46 p. 100 de P_2O_5
Potassium: Km, muriate de potasse, KCl, 61 p. 100 de K_2O
Ks, sulfate de potassium, K_2SO_4, 50 p. 100 de K_2O

[3] Engrais commerciaux: types ($N-P_2O_5-K_2O$)
10-10-10 + 2 p. 100 de MgO
7-27-12 + (Ca, Mg, S, B, Zn, Cu, Fe, Mn)
7-27-12 sans éléments mineurs
5-18-10 + 3 p. 100 MgO + 5 p. 100 de S
13-13-13 + (Ca, Mg, S)

[4] 20: Les 20 g d'azote (An) ont été appliqués au printemps de la deuxième saison de croissance.

[5] 21: Les 20 g d'azote (An) ont été appliqués au printemps de la troisième saison de croissance.

cours des trois années qui ont suivi la fertilisation. Le développement de ces caractéristiques (figure 1) est important car elles affectent directement la qualité finale d'un arbre de Noël aux points de vue de la forme et des densités de branchage et de feuillage. Les principales mesures qui ont été effectuées en fin de saison de croissance sont les suivantes:

a) croissance de la flèche terminale;
b) formation des bourgeons apicaux de la flèche terminale;
c) formation des bourgeons adventifs des entre-noeuds;
d) formation et croissance des ramilles latérales-terminales;
e) formation et croissance des ramilles adventives.

2.4 ÉTUDES SUR LE FEUILLAGE

Pour étudier les dimensions des aiguilles et analyser chimiquement le feuillage, tous les arbres des plantations ont été échantillonnés chaque automne, au cours des trois années qui ont suivi la fertilisation. Les aiguilles de l'année ont été prélevées sur la première branche adventive supérieure qui s'était développée durant l'année en cours. Dans chaque plantation, un échantillon composite a été formé pour chaque traitement.

Avant d'être séchés, les échantillons bien identifiés étaient conservés en chambre froide à 0°C pour une période ne dépassant pas 10 jours. Les aiguilles ont été séchées à une température de 65°C, pendant 48 heures, dans un four à circulation d'air forcée.

Les longueurs de 25 aiguilles séchées ont été mesurées au millimètre près pour chaque échantillon. Par la suite, elles ont été moulues à 20 mailles dans un broyeur avant qu'on entreprenne les déterminations chimiques d'éléments totaux.

Au laboratoire, la détermination de la quantité totale de chaque élément est établie selon les procédures d'analyses définies dans Thomas *et al.* (1967) et Walsh (1971). L'azote et le phosphore sont déterminés par colorimétrie après une simple digestion tandis que les cations sont dosés par spectrophotométrie d'émission et d'absorption atomique après minéralisation.

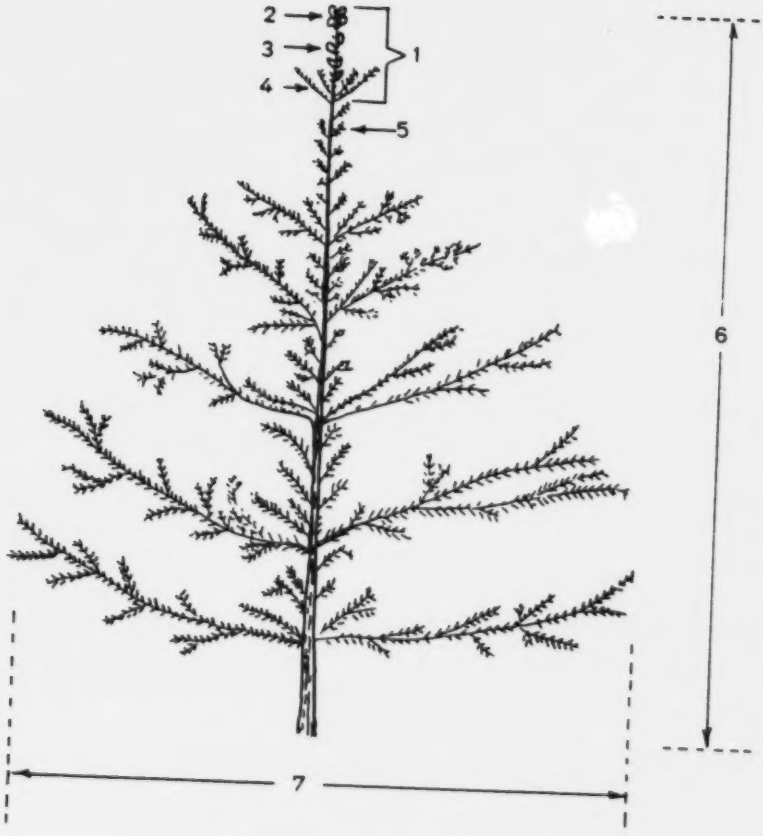

Figure 1: Identification des composantes de la tige qui ont été mesurées

1. Pousse ou flèche terminale
2. Bourgeons latéraux-terminaux de la flèche terminale
3. Bourgeons adventifs de la flèche terminale
4. Ramilles latérales-terminales
5. Ramilles adventives
6. Hauteur totale
7. Diamètre de la cime

L'utilisation de la gamme des couleurs de Munsell (Wilde et Voigt, 1972) adaptée pour les tissus végétaux n'a pas permis de déterminer avec précision les changements significatifs de la couleur dus aux engrais. Ce travail a été d'autant plus laborieux que la charte utilisée était malheureusement incomplète au point de vue de la gamme des couleurs; dans un même traitement, des changements de teintes des aiguilles étaient parfois attribuables à la différence génétique des arbres et non aux traitements. Dans la présentation des résultats, nous nous en tiendrons à situer la gamme des couleurs obtenues sans préciser les traitements.

2.5 ANALYSES STATISTIQUES

Les données sur les taux de survie, les longueurs d'aiguilles de même que celles sur les accroissements et sur la formation des bourgeons et des ramilles ont été cumulées pour les trois années d'études. Ensuite, elles ont été soumises séparément, par plantation, à des analyses de variance et à des comparaisons multiples afin de faire ressortir les différences significatives et les traitements qui les causent.

CHAPITRE III

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Le présent rapport traite des résultats obtenus dans les essais de fertilisation au moment de la plantation, à raison de deux par année en 1977 et 1978. Pour fins de comparaisons, la même provenance avait été mise en terre de façon simultanée, chez MM. J.-M. Lettre et Emery Lanctôt au cours du même printemps. À chaque endroit, les deux dispositifs sont situés côte-à-côte sur des sols ayant des propriétés physico-chimiques identiques. Par contre, les propriétés des sols diffèrent nettement entre les deux stations (tableau 1).

3.1 TAUX DE SURVIE

Les taux moyens de survie obtenus après trois ans pour l'ensemble de chaque plantation sont consignés dans le tableau 3 qui suit. La variation est exprimée par les taux minimum et maximum observés; la valeur de *F* des analyses de variance est aussi donnée. L'annexe 1 renferme les taux moyens de survie obtenus pour chacun des traitements dans les quatre plantations combinées ou regroupées par station pour les deux années d'essais.

Tableau 3

Taux moyens de survie obtenus après trois ans dans les essais de fertilisation au moment de la plantation

Endroit - Année[1]	Taux de survie (p. 100)			Valeurs de F^2
	Témoin	Tous	Variations min. - max.	
Lanctôt - 1977	85,0	74,2	35,0 à 95,0	2,40**
Lanctôt - 1978	77,5	71,0	35,0 à 95,0	2,14**
Lettre - 1977	87,5	83,3	65,0 à 97,5	0,90 ns
Lettre - 1978	97,5	88,6	70,0 à 100,0	1,20 ns

[1] Année de la plantation et de la fertilisation.
[2] Valeurs de *F* obtenues par analyse de variance: *: significatif à P = 0,95; **: significatif à P = 0,99; ns: non significatif.

Après trois ans, les taux moyens de survie obtenus à Compton (Lanctôt) sont les plus faibles avec 74,2 p et 71,0 p. 100 respectivement pour les plantations de 1977 et 1978, tandis que chez Lettre à Stanstead, les taux de survie de 83,3 et 88,6 p. 100 sont très acceptables, pour les mêmes années de plantation. À ce dernier endroit, le sol, de la classe texturale des loams sableux, favoriserait une plus grande disponibilité de l'eau pour les plants pendant leur période d'établissement, ce qui assurerait un meilleur taux de survie. Les sables loameux de Compton possèdent une moins bonne capacité de rétention de l'eau et s'assèchent plus rapidement. D'ailleurs, Pierpoint (1962) fait ressortir l'importance des propriétés physiques du sol, texture et structure, sur la disponibilité de l'eau et sur la survie dans une plantation.

Les analyses de variances font ressortir des différences significatives entre les traitements de fertilisation dans les plantations de Compton seulement; dans certains cas, les taux de survie obtenus sont considérés comme des échecs. Dans ces circonstances, l'augmentation de la mortalité est attribuable à la fertilisation. En

effet, l'action des pluies qui ont suivi l'application des engrais a favorisé leur dissolution et, pour les fortes doses, l'apparition de concentrations salines trop élevées causant des dommages au niveau des racines; les périodes de sécheresse qui ont suivi ont contribué à aggraver la situation.

Les engrais commerciaux appliqués au taux le plus élevé (400 g/plant) ont causé la plus forte mortalité. Ainsi, les taux de survie varient de 35,0 à 62,5 p. 100 selon le type d'engrais et ces différences sont significatives; c'est le (7-27-12)+ qui a été le plus dommageable. Le phénomène diminue à mesure que les doses décroissent mais il est clair que les engrais ont nuit à la reprise des plants.

Les effets sont moins frappants dans les plantations de chez Lettre. Cependant, les arbres fertilisés montrent un taux de survie plus faible. À ce dernier endroit, les sols possèdent des propriétés physiques différentes et surtout moins filtrantes que ceux de Compton. Cette perméabilité moindre rend le phénomène de percolation de la solution du sol plus lent et, par conséquent, moins risqué. À Stanstead par contre, les pertes d'engrais par érosion en surface pourraient être plus élevées, surtout si des pluies diluviennes sont observées dans les jours qui suivent la fertilisation.

Pour l'ensemble des quatre plantations, les applications uniques d'azote aux taux de 10 et 40 g/plant affectent la survie puisqu'elle diminue avec l'augmentation de la dose. Bien qu'importantes, ces différences ne sont pas significatives: le taux moyen de survie dans les quatre plantations est de 86,9 p. 100 pour le témoin tandis qu'il descend à 81,2 et 73,0 p. 100 respectivement pour les traitements de 10 et 40 g/plant d'azote. L'effet des additions uniques de phosphore et de potassium semble moins perceptible; le superphosphate triple est un engrais peu soluble et, par conséquent, moins dommageable à forte dose tandis que les 20 g/plant de potassium ne semblent pas néfastes.

Une diminution sensible des taux de survie est aussi observée lorsque l'azote, seul ou combiné, est appliqué à des doses de 10 g/plant et plus. D'ailleurs, les applications de 50 g/plant de chacun des engrais commerciaux utilisés n'ont pas diminué les taux de succès des plantations par rapport au témoin, ce qui confirme les dires de DeChamps (1982). Ce dernier mentionne qu'il vaut mieux apporter de très faibles doses d'azote (5 g/plant) à la plantation ou dans les toutes premières années lorsqu'il s'agit de fertilisation localisée au pied des plants. Hughes *et al.* (1971) de même que Jacobsen *et al.* (1980) mentionnent dans leurs essais que le phosphore a favorisé la survie tandis que l'azote aurait eu un effet contraire et négatif; le potassium apparaît sans effet. Enfin, il faut proscrire toute fertilisation azotée l'année même de la plantation parce que les plants ne sont pas encore installés et ne pourront profiter de cet apport d'engrais (Anonyme, 1978).

Les traitements à base d'urée et de sulfate de potassium se comparent aux traitements équivalents avec le nitrate d'ammonium et le muriate de potasse. Quant aux engrais commerciaux, on devra éviter d'utiliser ceux qui contiennent les plus fortes teneurs en azote et la dose suggérée est de 50 g/plant au moment de la plantation.

De plus, à Compton, les plants ont subi des dommages à la suite d'une infestation d'un charançon provenant de souches en voie de pourrissement dans une plantation voisine de pin sylvestre coupée en 1978. Cet insecte a annelé les tiges et causé la mort d'un certain nombre d'entres elles. Ces dégâts ont été observés à compter de 1979 et surtout en 1980 mais moins de 10 p. 100 des plants ont été affectés.

3.2 ÉTUDES SUR LE FEUILLAGE

3.2.1 COULEUR DES AIGUILLES

Au cours de la première année, les aiguilles formées étaient généralement d'un vert pâle jaunâtre allant de 2,5 GY 6/4 à

2,5 GY 6/6 ou 5 GY 5/6 selon la gamme des couleurs de Munsell (Wilde et Voigt, 1972). Par la suite, l'effet des traitements s'est fait sentir et des verts plus foncés ont été observés, la 2^{e} et surtout la 3^{e} année, en relation avec les fortes doses d'azote. Les plantations de Stanstead montrent des teintes plus foncées, c'est-à-dire 7,5 GY 4/6 contre 7,5 GY 5/4 pour Compton. Avec l'âge et parce que les plantations sont mieux établies, les aiguilles arborent des couleurs plus foncées, surtout lorsque les sols sont bien pourvus en éléments nutritifs. En général, les différences entre les arbres d'un même site deviennent moins perceptibles avec l'âge de la plantation; il est impossible de comparer chaque arbre individuellement parce qu'il n'en ressortirait aucune relation constante.

3.2.2 LONGUEURS DES AIGUILLES

Dans les essais d'application des engrais au moment de la plantation, les aiguilles de l'année courante n'ont pu être échantillonnées après la première saison de croissance en raison de la faible quantité d'aiguilles produites et parce que l'échantillonnage ne s'avérait pas représentatif. Les présents résultats concernent donc les aiguilles produites au cours de la deuxième saison de croissance.

Les longueurs moyennes d'aiguilles obtenues pour chaque plantation et pour l'ensemble des traitements sont exprimées au tableau 4 tandis que l'annexe 2 contient les moyennes combinées par traitement pour les quatre plantations.

Les analyses de variance font ressortir des différences significatives entre les longueurs d'aiguilles obtenues selon les traitements de fertilisation appliqués. Toutefois, à l'exception de la plantation de Lanctôt en 1977, les comparaisons multiples ne montrent pas de différence par rapport au témoin; des écarts significatifs peuvent cependant exister entre les traitements qui représentent les valeurs extrêmes. Ces fortes variations seraient attribuables à l'effet négatif des engrais qui dans certains cas ont empiré l'état de choc que subissent les plants au cours de leur période d'établissement en plantation. Ainsi, l'incohérence dans les résultats ne fait

Tableau 4

Longueurs moyennes des aiguilles de l'année courante obtenues à la fin de la deuxième saison de croissance après traitements

Endroit - Année[1]	Longueur des aiguilles (mm)			Valeurs de F^2
	Témoin	Tous	Variations min. - max.	
Lanctôt - 1977	18,7	22,6	17,7 à 27,7	3,25**
Lanctôt - 1978	24,0	22,7	15,9 à 29,7	8,67**
Lettre - 1977	17,8	17,0	14,5 à 20,3	3,15**
Lettre - 1978	20,5	20,5	16,6 à 24,9	4,20**

[1] Année de la plantation et de la fertilisation.
[2] Valeurs de *F* obtenues par analyse de variance: *: significatif à P = 0,95; **: significatif à P = 0,99; ns: non significatif.

ressortir aucun effet favorable des engrais sur la longueur des aiguilles de l'année pour cette période. L'examen du tableau présenté à l'annexe 2 le confirme. Il semble que cet effet négatif des engrais, qui ont occasionné un taux de mortalité plus élevé dans certains cas, pourrait se traduire par une réduction de croissance au niveau des aiguilles au cours des premières années après la plantation.

3.2.3 TENEURS DES FEUILLES EN ÉLÉMENTS NUTRITIFS

Les analyses chimiques des aiguilles de l'année courante ont été effectuées à la fin des deuxième et troisième saisons de croissance. Le tableau 5 présente les concentrations moyennes d'éléments nutritifs des aiguilles à la fin de la deuxième saison de croissance pour les témoins ainsi que pour la moyenne, et les variations dans chaque plantation. Les résultats de la troisième saison de croissance ont volontairement été omis dans ce tableau parce qu'ils n'ajoutaient rien. En effet, les écarts entre les teneurs d'éléments dus aux traitements diminuent à compter de la troisième année et les différences deviennent moins perceptibles (annexe 3).

Tableau 5

Concentrations moyennes (p. 100) en éléments nutritifs des aiguilles de l'année courante à la fin de la deuxième saison de croissance après traitements

Endroit - Année[1]	Teneurs en éléments nutritifs (p. 100)		
	Témoin	Ensemble des 50 traitements	Variations min. - max.
1) Azote total			
Lanctôt 1977	1,91	2,10	1,90 à 2,41
Lanctôt 1978	2,25	2,28	2,03 à 2,51
Lettre 1977	1,74	1,98	1,60 à 2,31
Lettre 1978	2,22	2,30	2,16 à 2,52
Moyenne	2,03	2,16	2,03 à 2,32
2) Phosphore total			
Lanctôt 1977	0,26	0,33	0,25 à 0,42
Lanctôt 1978	0,28	0,28	0,23 à 0,36
Lettre 1977	0,23	0,31	0,23 à 0,38
Lettre 1978	0,27	0,32	0,26 à 0,38
Moyenne	0,26	0,31	0,26 à 0,36
3) Potassium total			
Lanctôt 1977	0,85	0,86	0,66 à 1,03
Lanctôt 1978	0,61	0,63	0,51 à 0,74
Lettre 1977	0,55	0,78	0,44 à 0,95
Lettre 1978	0,54	0,69	0,47 à 0,85
Moyenne	0,64	0,74	0,60 à 0,84
4) Calcium total			
Lanctôt 1977	0,34	0,40	0,20 à 0,65
Lanctôt 1978	0,30	0,38	0,22 à 0,59
Lettre 1977	0,93	0,76	0,61 à 1,02
Lettre 1978	1,22	1,03	0,82 à 1,23
Moyenne	0,70	0,64	0,53 à 0,82
5) Magnésium total			
Lanctôt 1977	0,055	0,074	0,039 à 0,144
Lanctôt 1978	0,053	0,061	0,042 à 0,089
Lettre 1977	0,084	0,090	0,072 à 0,121
Lettre 1978	0,064	0,076	0,058 à 0,100
Moyenne	0,064	0,076	0,056 à 0,109

[1] Année de la plantation et de la fertilisation.

Les plants témoins montrent des teneurs en azote foliaire qui varient de 1,74 à 2,25 p. 100 selon les plantations et ce sont celles de 1978 qui montrent les plus fortes concentrations. Le phosphore foliaire accuse peu de variation: entre 0,23 et 0,28 p. 100. Par contre, les plantations de chez E. Lanctôt diffèrent passablement de celles de J.-M. Lettre quant aux teneurs en potassium, calcium et magnésium. Ainsi, la forte concentration de potassium (0,85 p. 100) extraite de la plantation Lanctôt 1977 ne réflète pas les faibles teneurs du sol en cet élément telles qu'exprimées par le tableau 1; ces différences tendent à s'estomper lors de la troisième saison de croissance puisque la teneur a diminué considérablement. Par contre, le calcium et le magnésium foliaires, nettement plus faibles dans les plantations Lanctôt, confirment leur niveau inadéquat dans le sol. Par exemple, le calcium des arbres témoins atteint 0,34 et 0,30 p. 100 chez Lanctôt tandis qu'il est de 0,93 et 1,22 p. 100 chez Lettre; le magnésium, pour les mêmes plantations, dose à 0,055 et 0,053 p. 100 (Lanctôt) comparativement à 0,084 et 0,064 p. 100 chez Lettre.

La comparaison de ces teneurs foliaires avec celles obtenues dans des peuplements naturels par Brazeau et Bernier (1973), Morrison (1977) et Veilleux (1975) fait ressortir que les éléments analysés sont en quantités suffisantes sauf pour le calcium et le magnésium chez E. Lanctôt; chez Lettre, le magnésium foliaire serait aussi insuffisant. D'ailleurs, la confrontation de nos résultats d'analyses avec ceux de moyennes d'analyses foliaires typiques présentées par Bruns (1973) pour des plantations d'arbres de Noël de qualité commerciale (sapin baumier) du New Hampshire et du Vermont confirme les faibles teneurs en calcium et en magnésium de nos plantations; son échantillonnage (Bruns, 1973) de 52 arbres établit les moyennes comme suit (p. 100): azote: 1,50; phosphore: 0,19; potassium: 0,72; calcium: 0,62; magnésium: 0,10.

Les variations des teneurs foliaires des cinq éléments analysés à la suite des applications uniques d'engrais simples (traitements n° 1 à 8 incl.) sont exprimées dans les histogrammes de la figure 2. À l'exception de l'azote, les concentrations foliaires des

éléments appliqués augmentent proportionnellement aux doses; ainsi, le phosphore et le potassium contenus dans les aiguilles sont à leur maximum à la suite des applications respectives de 40 g/plant (0-40-0) et de 20 g/plant (0-0-20). Comme le superphosphate triple contient du calcium (14 p. 100) et du magnésium (1,0 p. 100), les apports de cet engrais se traduisent par des augmentations proportionnelles de ces éléments. L'application de muriate de potasse (KCl) semble traduire cependant une interaction négative du calcium où l'on enregistre une diminution sensible de cet élément à la suite des traitements (0-0-10) et (0-0-20).

L'annexe 3 renferme, pour tous les traitements, les concentrations moyennes des cinq éléments analysés des aiguilles de l'année courante et combinées pour les quatre plantations concernées et exprimées, après les deuxième et troisième saisons de croissance. Sauf pour l'azote dont les teneurs augmentent entre la deuxième et la troisième années (le témoin passe de 2,03 à 2,31 p. 100), les autres éléments montrent peu de variation et les écarts tendent à diminuer à compter de la troisième saison de croissance, comme le démontre le tableau qui suit.

Tableau 6

Variations des concentrations moyennes (p. 100) des éléments nutritifs des aiguilles de l'année courante entre les deuxième et troisième saisons de croissance après fertilisation

Élément	Concentration moyenne des 4 plantations			
	Témoin		Ensemble des 50 traitements	
	2^{e} saison	3^{e} saison	2^{e} saison	3^{e} saison
Azote (N)	2,03	2,31	2,16	2,39
Phosphore (P)	0,26	0,27	0,31	0,31
Potassium (K)	0,64	0,64	0,74	0,72
Calcium (Ca)	0,70	0,76	0,64	0,66
Magnésium (Mg)	0,064	0,060	0,075	0,070

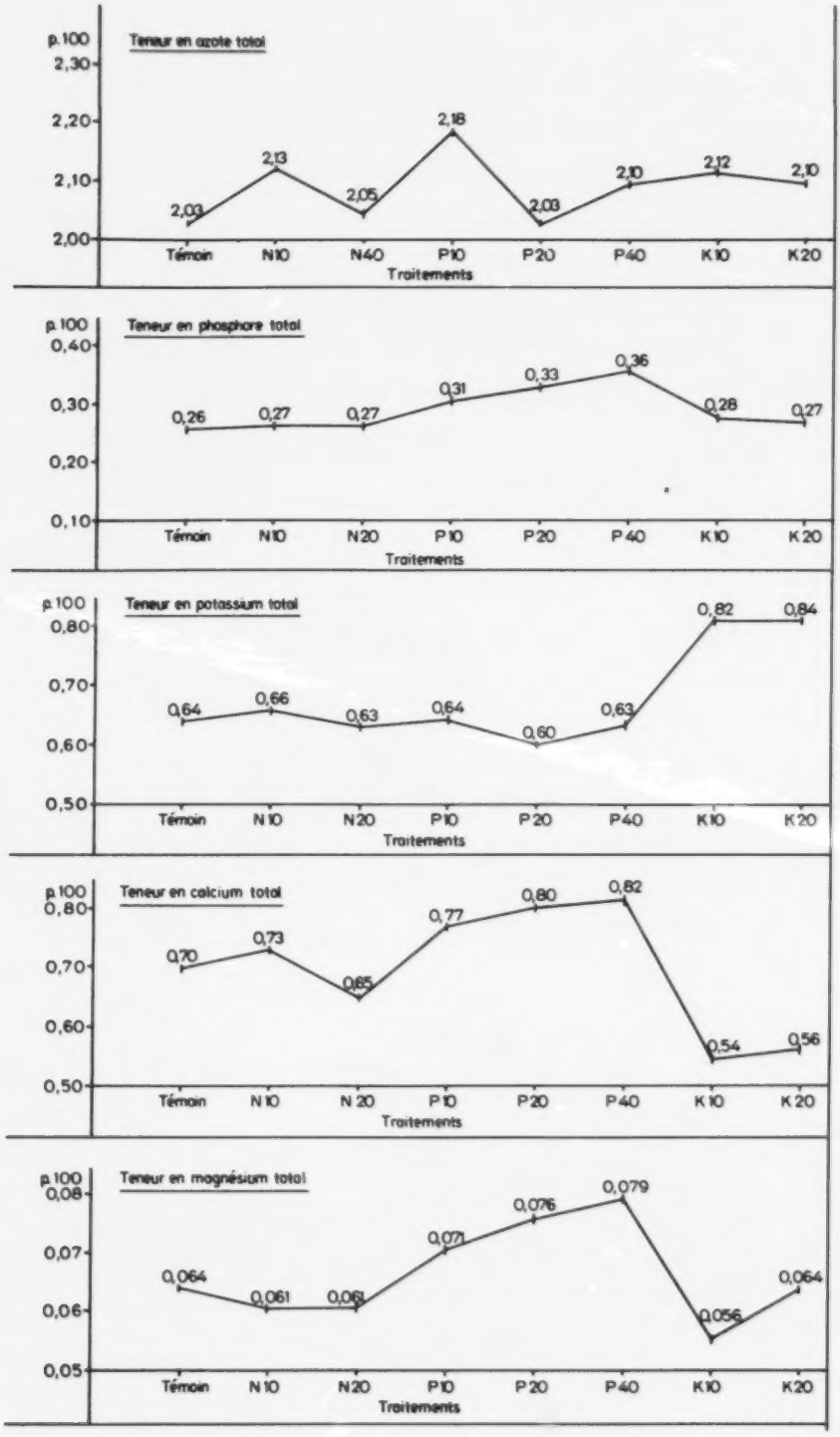

Figure 2. Variations des concentrations moyennes des éléments nutritifs des aiguilles de l'année courante du sapin baumier, à la fin de la deuxième saison de croissance après fertilisation et à la suite des traitements d'engrais simples.

Dans l'ensemble, les engrais ont favorisé des augmentations au niveau des teneurs foliaires des éléments qui ont été appliqués, comme le démontrent la figure 2 et l'annexe 3. Les concentrations d'azote sont surtout affectées par les traitements combinés de cet élément avec P et K et répétés annuellement. L'addition élevée d'azote au taux de 40 g/plant au moment de la plantation n'est pas détectée dans les aiguilles; d'ailleurs, cette dose aurait eu un effet négatif sur la survie et probablement sur les plants qui ont survécu. L'augmentation générale des teneurs azotées des aiguilles à compter de la troisième saison de croissance indique que ces plants sont en voie de s'installer et qu'ils puisent dans les sols concernés, déjà bien pourvus en azote. Il ne semble pas y avoir de différence entre les types d'engrais azotés: urée *versus* nitrate d'ammonium. La concentration maximale d'azote est atteinte avec la dose de 20 g/plant d'azote (2,54 p. 100).

La teneur optimum en phosphore (0,36 p. 100) s'observe à la suite de l'addition de 40 à 50 g/plant de cet élément, combinée à N et K sous formes d'engrais simples ou d'engrais commerciaux. Toutefois, ces augmentations en teneur des aiguilles ne sont pas proportionnelles aux taux d'application puisqu'avec 20 g/plant de phosphore, on retrouve jusqu'à 0,35 p. 100 de cet élément dans les aiguilles: la forme de phosphore disponible dans les engrais commerciaux influence donc son absorption.

Les 10 g/plant de potassium produisent la plus forte augmentation au niveau des aiguilles; l'effet se prolonge la troisième année par la répétition annuelle de cette dose combinée à l'azote et au phosphore sous forme d'engrais simple et d'engrais commercial (7-27-12)+. Les teneurs foliaires en calcium sont influencées par les applications des superphosphates (simple ou triple) qui contiennent cet élément dans leur constitution. De même, le magnésium contenu dans les aiguilles augmente seulement à la suite de l'application des engrais commerciaux auxquels cet élément a été ajouté: (10-10-10)+, (7-27-12)+, (5-18-10)+ et (13-13-13)+. Les doses de 400 g/plant et celle de 100 g/plant répétées annuellement influencent le plus la concentration foliaire en magnésium.

3.3 ÉTUDES SUR LA CROISSANCE

Les accroissements annuels ont été mesurés pour certaines parties constituantes de la cime: la flèche terminale, les ramilles latérales-terminales et les ramilles adventives. Pour faire ressortir l'effet global des différents traitements d'engrais et afin de faciliter la compréhension, les différentes données des quatre plantations mises à l'essai, ont été regroupées dans l'annexe 4. Nous tenterons toutefois de faire ressortir, s'il y en a, les réactions particulières qui auraient été observées dans l'une ou l'autre des plantations.

3.3.1 CROISSANCE DE LA FLÈCHE TERMINALE

Les croissances annuelles et totales de la flèche terminale obtenues pour l'ensemble des traitements dans chaque plantation sont présentées au tableau 7. L'examen de ce tableau révèle que le modèle des réactions est semblable dans les quatre plantations; ce qui diffère, ce sont les amplitudes des réactions, attribuables aux qualités des stations sur lesquelles les essais ont été réalisés. En effet, les arbres plantés chez J.-M. Lettre ont montré des accroissements supérieurs dus à des sols plus fertiles où les disponibilités de l'eau et des éléments nutritifs sont nettement plus élevées. Par exemple, les arbres témoins montrent un accroissement total moyen supérieur de 7,4 cm tandis que les réactions aux meilleurs traitements de fertilisation dépassent de plus de 14,0 cm celles de chez Lanctôt.

Un autre point important qui ressort de la consultation du tableau 8 concerne le modèle des réactions au cours des saisons de croissance qui suivent la fertilisation. Dans l'ensemble, l'effet des engrais est nul pour la première année tandis qu'une légère réaction s'observe l'année suivante. Par contre, les accroissements de la flèche terminale mesurés pour la troisième saison sont les plus importants et ils diffèrent nettement et de façon significative d'avec ceux des deux saisons précédentes, pour tous les traitements. D'ailleurs, les quatre plantations montrent un accroissement moyen de 17,7 cm au

Tableau 7

Accroissements annuels et totaux (cm) de la flèche et des ramilles latérales-terminales et adventives obtenus au cours des trois premières saisons de croissance après fertilisation

Endroit - Année	Accroissements en cm[1]					Analyses de variance - Valeurs de F^2	
	1re année	2e année	3e année	Total		Entre les années	Entre les traitements
				moyen	variations min.-max.		
1 - Flèche terminale							
Lanctôt - 1977	5,2 (5,7)	6,0 (4,3)	13,5 (10,9)	24,7 (20,9)	18,6 à 31,6	500,90**	1,77**
Lanctôt - 1978	5,6 (5,8)	4,0 (2,8)	15,5 (10,3)	25,1 (18,9)	17,9 à 34,6	918,51**	2,26**
Lettre - 1977	6,5 (6,5)	8,5 (6,1)	20,5 (15,0)	35,5 (27,6)	21,7 à 46,7	702,71**	2,96**
Lettre - 1978	6,6 (6,3)	7,1 (5,4)	21,2 (15,4)	34,9 (27,1)	20,6 à 48,3	1 655,20**	5,94**
Moyenne	6,0 (6,1)	6,4 (4,6)	17,7 (12,9)	30,1 (23,7)			
2 - Ramilles latérales-terminales							
Lanctôt - 1977	7,6 (7,9)	6,3 (4,8)	12,1 (10,8)	26,0 (23,5)	21,5 à 30,9	464,30**	1,68**
Lanctôt - 1978	7,4 (6,9)	5,3 (3,7)	12,5 (10,5	25,2 (21,1)	20,4 à 32,4	705,89**	2,21**
Lettre - 1977	7,8 (7,8)	7,7 (6,8)	16,0 (12,7)	31,5 (27,4)	24,8 à 37,9	1 141,88**	3,68**
Lettre - 1978	8,2 (7,7)	7,8 (6,8)	16,6 (13,2)	32,6 (27,5)	26,0 à 42,6	1 699,29**	5,30**
Moyenne	7,7 (7,6)	6,8 (5,5)	14,3 (11,8)	28,8 (24,9)			
3 - Ramilles adventives							
Lanctôt - 1977	''	3,2 (2,1)	5,5 (4,9)	8,7 (7,0)	6,3 à 12,1	124,42**	1,55*
Lanctôt - 1978	''	2,5 (1,9)	6,1 (4,8)	8,6 (6,7)	5,7 à 12,0	251,65**	1,64**
Lettre - 1977	''	4,6 (4,6)	7,9 (6,9)	12,5 (11,3)	9,5 à 15,0	127,91**	1,53*
Lettre - 1978	''	4,8 (4,3)	8,0 (7,2)	12,8 (11,5)	8,6 à 16,6	268,37**	3,26**
Moyenne	''	3,8 (3,2)	6,9 (5,9)	10,7 (9,1)			

[1] Les données exprimées entre parenthèses représentent les valeurs obtenues pour les arbres témoins.
[2] Valeurs de *F* obtenues par analyse de variance. *: significatif à P = 0,95; **: significatif à P = 0,99; ns: non significatif.

cours de la troisième année, comparativement à 12,4 cm pour les accroissements totalisés des deux premières saisons de croissance.

Dans l'ensemble, les traitements de fertilisation ont favorisé la croissance de la flèche terminale, surtout à compter de la troisième saison. D'ailleurs, les analyses de variance font ressortir des valeurs de *F* significatives pour les traitements (tableau 7) tandis que les tests de comparaisons multiples vont permettre d'identifier le ou les traitements qui ont affecté la croissance de façon significative dans chacune des plantations.

Chez Lettre, la plantation de 1977 et surtout celle de 1978 montrent les plus fortes réactions aux engrais; elles présentent le plus grand nombre de traitements qui diffèrent significativement entre eux. Par contre, dans la plantation Lanctôt 1977, où les effets sont les moins importants, aucune différence n'est ressortie même si la valeur de *F* est significative.

Après trois saisons de croissance, pour les quatre plantations, dont les résultats sont combinés à l'annexe 4, les traitements qui ont le plus favorisé la croissance de la flèche terminale et de façon significative dans certains cas sont, dans l'ordre décroissant, les traitements n^{os}: 16 (37,8 cm), 17 (37,2 cm), 45 (36,6 cm), 30 et 15 (35,1 cm), 18, 25 et 50 (34,2 cm), 43 (33,6 cm), 24 (33,3 cm) et 19, 35, 40, 44 et 49 (33,0 cm). Au cours de cette même période, les arbres témoins se sont accrus de 23,7 cm.

La plupart de ces traitements ont été effectués au moyen d'engrais simples combinés ou d'engrais commerciaux à formule complète qui ont presque tous été répétés en début de chacune des trois saisons de croissance. Compte tenu de l'effet négligeable des engrais sur la croissance et surtout des réactions négatives sur les taux de survie à la suite des applications d'azote au moment de la plantation, la fertilisation azotée est à éviter au cours des deux premières saisons de croissance. Celles-ci coincident avec la période d'établissement des plants.

Toutefois, la consultation de l'annexe 4 fait ressortir un effet cumulatif des engrais appliqués seulement au moment de la plantation. Leur effet se traduit par des accroissements légèrement supérieurs par rapport au témoin; ces accroissements sont principalement perçus au cours de la troisième année.

Afin que les jeunes plants puissent profiter au maximum, dès leur mise en terre, des éléments phosphore et potassium, il est conseillé d'ajouter ces fertilisants avant la plantation, au moment de la préparation du terrain, et de les enfouir au niveau des racines. Ces amendements comprennent le chaulage ainsi que les apports de magnésium. La première fertilisation azotée n'est recommandée qu'au début de la troisième saison de croissance, c'est-à-dire à compter du moment où les plantations montrent des signes de leur installation dans le milieu, tels que démontrés par les plants témoins. Les doses d'éléments varieront entre 10 et 20 g/plant d'azote et de 5 à 10 g/plant de phosphore et de potassium.

Les traitements à base de nitrate d'ammonium et de muriate de potassium valent les traitements à base d'urée et de sulfate de potassium. Par contre, les formules d'engrais commerciaux (5-18-10)+, (10-10-10)+ et (13-13-13)+ et (7-29-12)+ ont favorisé la croissance, dans cet ordre. Ces derniers seraient préférables parce qu'ils ne nécessitent qu'une seule application, ce qui est plus économique pour le même rendement.

3.3.2 ACCROISSEMENTS DES RAMILLES LATÉRALES-TERMINALES DU VERTICILLE

Le modèle des réactions pour l'accroissement des ramilles latérales-terminales est à peu près identique à celui de la flèche terminale, à l'exception de la deuxième saison de croissance où les accroissements sont les plus faibles (tableau 7). Ainsi, les plantations de chez J.-M. Lettre montrent des accroissements supérieurs de 6,5 cm en moyenne, dont 5,2 cm pour les témoins et 8,6 cm pour le meilleur traitement de fertilisation.

L'effet des engrais est nul la première année tandis qu'une faible réaction s'observe la deuxième saison. L'accroissement moyen de 14,3 cm obtenu au cours de la troisième saison de croissance est équivalent aux accroissements combinés des deux premières saisons (14,5 cm) et diffère de façon significative.

Les analyses de variance montrent des différences significatives entre les traitements pour les quatre plantations. Toutefois, les comparaisons multiples permettent d'identifier les traitements qui diffèrent seulement dans les plantations de chez J.-M. Lettre. Parmi les traitements d'engrais qui favorisent le plus la croissance des ramilles latérales-terminales, notons, dans l'ordre décroissant, les traitements n^{os}: 17 (33,9 cm), 16 (33,0 cm), 18 (32,4 cm), 15, 35 45 et 50 (31,5 cm) et 25, 30 (31,2 cm); au cours de la même période, les arbres témoins s'accroissaient de 24,9 cm (annexe 4). La plupart de ces traitements ont été réalisés à partir d'engrais simples combinés ou d'engrais complets qui ont presque tous été répétés en début de chacune des trois saisons de croissance. Les doses d'éléments varient entre 10 et 20 g/plant d'azote et de phosphore et sont de 10 g/plant pour le potassium.

3.3.3 ACCROISSEMENTS DES RAMILLES ADVENTIVES

Au cours du premier été qui a suivi chaque plantation, la production de ramilles adventives a été très irrégulière et souvent nulle chez la plupart des plants récemment mis en terre. À cause du manque de données représentatives, ces mesures ont été omises volontairement à la fin de la première saison de croissance.

À l'instar des deux autres parties de la tige qui ont été étudiées, les accroissements des ramilles adventives ont été influencés de façon significative au cours de la troisième saison de croissance, montrant un accroissement moyen de 6,9 cm comparativement à 3,8 cm pour la deuxième année.

Les écarts entre les effets des engrais étant moins grands, il a été plus difficile de faire ressortir les traitements

significatifs à l'aide des comparaisons multiples. Ainsi, seule la plantation Lettre 1978 présente deux traitements (16 et 50) qui affectent de façon significative la croissance des ramilles adventives. Mais dans l'ensemble des quatre plantations, les traitements qui ont le plus grand effet sur la croissance des ramilles adventives sont, dans l'ordre décroissant: n^{os} 30 (12,8 cm), 18 (12,6 cm), 16 et 17 (12,4 cm), 35, 45 et 50 (12,0 cm). Tous ces traitements ont été répétés annuellement en début des saisons de croissance.

3.4 ÉTUDES SUR LA FORMATION DES PARTIES DE LA CIME

Les effets possibles des engrais sur la formation de certaines parties de la cime ont été observés pour les ramilles latérales-terminales et adventives de même que pour les bourgeons apicaux et adventifs. Une autre valeur calculée et fournie est celle du nombre de bourgeons adventifs formés par centimètre de flèche terminale. La formation et le développement de ces éléments de la cime auront un effet direct sur la densité finale de l'arbre. Les résultats de ces études sont regroupés dans le tableau 8 et à l'annexe 4.

3.4.1 NOMBRE DE RAMILLES LATÉRALES-TERMINALES PAR VERTICILLE

Les ramilles latérales-terminales formées au cours d'une saison donnée se développent à partir des bourgeons apicaux apparus à la fin de la saison de croissance précédente. Ainsi, celles qui se sont développées au cours de la première année de la plantation proviennent des bourgeons apicaux formés en pépinière; leur nombre est donc indépendant des traitements de fertilisation appliqués après la plantation.

Dans la formation du nombre de ramilles terminales, ce qui retient particulièrement l'attention, c'est la baisse significative de production au cours de la troisième saison, conséquence directe de la diminution observée lors de la deuxième saison de croissance après la plantation dans la formation des bourgeons apicaux.

Tableau 8

Formation des parties de la cime (nombre) pour les bourgeons apicaux et adventifs et les ramilles latérales-terminales et adventives

Endroit - Année	Formation des ramilles et des bourgeons (nombre/cime)[1]					Analyses de variance - Valeurs de F^2	
	1re année	2e année	3e année	Total moyen	Total variations (min.-max.)	Entre les années	Entre les traitements
1- Nombre de ramilles latérales-terminales							
Lanctôt - 1977	2,6 (2,9)	2,6 (3,1)	2,2 (2,3)	7,4 (8,2)	6,3 à 8,6	34,77**	1,35ns
Lanctôt - 1978	3,2 (3,3)	3,4 (3,0)	1,9 (1,5)	8,5 (7,8)	7,3 à 9,6	365,70**	1,54*
Lettre - 1977	2,8 (2,9)	4,0 (3,9)	2,8 (2,9)	9,6 (9,9)	8,4 à 10,5	332,32**	1,18ns
Lettre - 1978	3,7 (3,4)	4,2 (4,3)	2,8 (2,4)	10,7 (10,2)	9,6 à 11,7	346,53**	1,02ns
Moyenne	3,1 (3,1)	3,6 (3,6)	2,4 (2,3)	9,1 (9,0)			
2- Nombre de ramilles adventives							
Lanctôt - 1977	''	5,3 (4,3)	3,8 (2,8)	9,1 (7,1)	6,0 à 12,4	18,91**	0,96ns
Lanctôt - 1978	''	3,1 (2,6)	3,7 (3,1)	6,8 (5,6)	3,6 à 11,1	5,54**	1,36ns
Lettre - 1977	''	11,0 (12,0)	4,8 (3,9)	15,8 (15,9)	9,4 à 19,9	15,80**	0,75ns
Lettre - 1978	''	7,3 (7,9)	6,5 (5,1)	13,8 (13,0)	6,6 à 20,6	4,06**	2,04**
Moyenne	''	6,7 (6,7)	4,7 (3,7)	11,4 (10,4)			
3- Nombre de bourgeons apicaux							
Lanctôt - 1977	2,7 (3,1)	2,7 (2,6)	3,8 (3,5)	9,2 (9,2)	7,7 à 10,7	18,78**	1,16ns
Lanctôt - 1978	3,7 (4,1)	2,1 (1,4)	3,9 (2,9)	9,7 (8,4)	7,8 à 11,2	378,91**	1,99**
Lettre - 1977	4,2 (3,9)	3,3 (3,3)	4,0 (3,4)	11,5 (10,5)	9,6 à 15,5	40,89**	1,34ns
Lettre - 1978	4,4 (4,5)	2,8 (2,4)	4,6 (4,0)	11,8 (10,8)	10,3 à 13,9	611,18**	2,39**
Moyenne	3,7 (3,9)	2,7 (2,4)	4,1 (3,4)	10,5 (9,7)			
4- Nombre de bourgeons adventifs							
Lanctôt - 1977	5,9 (5,8)	3,8 (2,7)	10,7 (7,9)	20,4 (16,4)	13,9 à 27,3	356,79**	1,54*
Lanctôt - 1978	4,5 (4,5)	2,4 (1,4)	10,9 (6,7)	17,8 (12,6)	12,4 à 25,7	568,89**	1,98**
Lettre - 1977	12,2 (12,1)	5,6 (4,2)	14,5 (9,3)	32,3 (25,6)	23,1 à 41,4	387,73**	2,66**
Lettre - 1978	7,2 (6,7)	4,6 (4,0)	16,0 (11,9)	27,8 (22,6)	16,1 à 42,8	968,92**	4,82**
Moyenne	7,4 (7,3)	4,1 (3,1)	13,0 (8,9)	24,5 (19,3)			
5- Nombre de bourgeons adventifs/cm de flèche terminale							
Lanctôt - 1977	1,15 (1,02)	0,65 (0,62)	0,78 (0,70)	0,86 (0,78)	0,71 à 1,02	187,51**	1,00ns
Lanctôt - 1978	0,90 (0,80)	0,57 (0,40)	0,69 (0,62)	0,71 (0,60)	0,55 à 0,88	138,09**	1,62**
Lettre - 1977	1,89 (1,93)	0,68 (0,68)	0,72 (0,61)	1,10 (1,08)	0,98 à 1,32	1 272,27**	0,77ns
Lettre - 1978	1,08 (1,08)	0,63 (0,72)	0,76 (0,78)	0,82 (0,86)	0,70 à 0,90	413,99**	1,67**
Moyenne	1,25 (1,21)	0,63 (0,60)	0,74 (0,68)	0,87 (0,83)			

[1] Les données exprimées entre parenthèses représentent les valeurs obtenues pour les arbres témoins.
[2] Valeurs de F obtenues par analyses de variance. *: significatif à P = 0,95; **: significatif à P = 0,99; ns: non significatif.

Au cours des trois premières années, la production totale moyenne pour l'ensemble des quatre plantations a été de 9,1 ramilles latérales-terminales. À l'instar des accroissements, les plantations J.-M. Lettre à Stanstead montrent une production supérieure au cours des trois années avec 10,2 ramilles, comparativement à 8,0 chez Lanctôt. Les traitements d'engrais montrent peu de variations et les différences ne sont pas significatives (annexe 4).

3.4.2 NOMBRE DE RAMILLES ADVENTIVES

Au cours de la première saison de croissance, la formation des ramilles adventives a été très irrégulière et le plus souvent nulle; faute de données représentatives, ces résultats ont été volontairement exclus. La production moyenne en deuxième année a été de 6,7 ramilles par arbre, tandis qu'une baisse significative a été notée au cours de la troisième année avec 4,7 ramilles par arbre. D'ailleurs, l'analyse de variance fait ressortir une valeur de *F* significative entre les productions de ramilles adventives de la deuxième et de la troisième saisons de croissance, pour les quatre plantations (tableau 8). Le nombre total de ramilles adventives produites par arbre dans les plantations J.-M. Lettre a dépassé largement celui des plantations E. Lanctôt, avec 14,8 ramilles contre 8,0 ramilles au cours des deux années d'observations.

Pour les traitements, les différences existent mais elles ne sont significatives que dans la plantation Lettre 1978; par contre, les comparaisons multiples ne permettent pas d'identifier les traitements qui diffèrent. Dans l'ensemble, les traitements montrent des effets très variables selon les plantations, d'où il est impossible de faire ressortir le ou les traitements qui auraient favorisé la formation des ramilles adventives.

3.4.3 NOMBRE DE BOURGEONS APICAUX

La production annuelle de bourgeons apicaux de la flèche terminale, a diminué de façon significative au cours de la deuxième

année qui a suivi la plantation (tableau 8). La troisième saison, qui a été la meilleure avec 4,1 bourgeons par arbre, ne diffère pas de la première (3,7 bourgeons).

Les plantations J.-M. Lettre montrent un nombre total supérieur de bourgeons apicaux formés en trois ans avec 11,6 contre 9,5 chez Lanctôt.

Dans l'ensemble, les plantations effectuées en 1978 affichent un effet significatif des traitements. Les comparaisons multiples ont permis d'identifier que les traitements n^{os} 45 (13,9 bourgeons/flèche) et 16 (13,7 bourgeons/flèche), dans la plantation Lettre 1978 seulement, différaient de façon significative par rapport au témoin.

3.4.4 NOMBRE DE BOURGEONS ADVENTIFS

Comme pour les bourgeons apicaux, la deuxième saison de croissance n'a pas été tellement favorable à la formation des bourgeons adventifs puisque leur nombre a diminué par rapport à la première année, passant de 7,4 à 4,1 bourgeons par flèche terminale. Cependant, la production atteignait 13,0 bourgeons au cours de la troisième saison et les différences sont significatives (tableau 8).

Les analyses de variance montrent des valeurs de *F* significatives pour les traitements de fertilisation dans les quatre plantations. Toutefois, les comparaisons multiples ne font ressortir les traitements qui diffèrent que dans les plantations J.-M. Lettre; ainsi, dans les deux cas, le traitement n° 16 avec respectivement 41,4 et 42,8 bourgeons par flèche en 1977 et 1978, tandis que les traitements n^{os} 18 (39,4 bourgeons), 24 (38,9 bourgeons) et 45 (37,9 bourgeons) sont significatifs dans la plantation de 1978.

Les résultats combinés des quatre plantations, présentés à l'annexe 4, confirment que ces traitements-là ont favorisé le plus la formation des bourgeons adventifs; ce sont tous des traitements qui ont été répétés au début des trois premières saisons de croissance.

3.4.5 NOMBRE DE BOURGEONS ADVENTIFS PAR CENTIMÈTRE DE FLÈCHE TERMINALE

Ces données sont obtenues en divisant le nombre total de bourgeons adventifs (tableau 8) par l'accroissement total de la flèche terminale (tableau 7) au cours des trois saisons qui ont suivi la fertilisation. Un rapport élevé indique la formation d'un plus grand nombre de bourgeons adventifs par unité de longueur de la flèche terminale, ce qui se traduira éventuellement par une densité de ramilles adventives plus élevée sur les entre-noeuds.

La consultation du tableau 8 révèle pour les quatre plantations que le rapport diminue de façon significative à compter de la deuxième saison de croissance, même s'il est suivi d'une légère hausse en troisième année. Ainsi, le rapport, qui était de 1,25 bourgeons par centimètre, a diminué à 0,63 après la deuxième saison tandis qu'il remontait à 0,74 la troisième année. Dans l'ensemble, l'augmentation du nombre de bourgeons adventifs n'est pas proportionnelle à l'accroissement de la flèche terminale, ce qui cause la diminution du rapport et, par le fait même, une densité moindre de branchage. Il ressort que les traitements de fertilisation affectent plus la croissance de la flèche terminale que la formation des bourgeons adventifs.

Ces données réflètent la période d'établissement des plantations qui tardent à se développer au cours des premières saisons. L'amélioration qui s'amorce en troisième année est encourageante et démontre surtout que les plants devraient réagir aux traitements d'engrais à ce moment-là. Il n'en demeure pas moins que les données obtenues dans nos plantations se comparent avantageusement avec celles de Bruns (1973), dont les rapports bourgeons adventifs par centimètre de flèche terminale, pour trois années, varient entre 0,44 et 0,61. Bruns considère important qu'un producteur tende à utiliser les engrais qui vont favoriser la formation des bourgeons adventifs et de leurs ramilles au détriment de la croissance de la flèche terminale.

CONCLUSION

Ce rapport tente de faire ressortir les effets de la fertilisation au moment de la plantation et ceux de quelques traitements répétés sur une base annuelle, au printemps des trois premières saisons de croissance. Les effets ont été mesurés sur les taux de survie de même que sur la croissance et le développement des différentes parties de la cime du sapin baumier cultivé pour la production d'arbres de Noël.

Les taux de survie obtenus après trois ans diffèrent entre les deux stations utilisées. En effet, la mortalité a été sensiblement plus élevée à Compton où les sables loameux, bien drainés et à structure médiocre, montrent une disponibilité de l'eau inférieure à ceux de Stanstead. À ce dernier endroit, les sols sont du type loam sableux, modérément drainés, et possèdent une meilleure capacité de rétention de l'eau et des éléments nutritifs.

Cette différence entre les propriétés physiques des sols peut expliquer un taux de mortalité supérieur à la suite des applications d'engrais à Compton. Ainsi, aux deux endroits, les applications d'azote à un taux supérieur à 10 g/plant et celles d'engrais phosphatés solubles qui dépassent 20 g/plant se sont traduites par des augmentations de la mortalité. Les sols à drainage rapide de Compton pourraient favoriser la présence temporaire de concentrations salines néfastes au niveau des racines, à la suite d'une percolation plus rapide favorisée par une capacité moindre de rétention de l'eau et des éléments. Aucun effet du potassium sur la mortalité n'a pu être déterminé.

La couleur et la longueur des aiguilles n'ont à peu près pas été affectées au cours des trois saisons qui ont suivi la fertilisation. Cette absence de réaction s'explique par l'état de choc des plants au cours de leur période d'établissement qui couvre facilement les deux premières saisons de croissance. De plus, la condition des plants est empirée par certains traitements d'engrais dont l'effet négatif a été décelé au niveau de la mortalité. Après trois ans, les engrais appliqués au moment de la plantation n'ont plus la même efficacité. Les changements de couleurs qui semblent plus foncées au cours de la troisième saison de croissance seraient surtout attribuables au fait que les jeunes arbres sont bien établis et qu'ils puisent leurs éléments nutritifs dans le sol qui les supporte; ainsi, les teintes plus foncées observées dans les plantations chez Lettre sont attribuables à la qualité de station qui est supérieure. Il est impossible de différencier les traitements, même répétés chaque saison.

Les analyses chimiques des aiguilles de l'année courante, prélevées à la fin de la deuxième saison de croissance, montrent des augmentations des concentrations foliaires, proportionnelles aux doses d'éléments appliquées, à l'exception de l'azote. Ainsi, le phosphore et le potassium foliaires sont à leur maximum à la suite des applications respectives de 40 g/plant (P = 0,36 p. 100) et 20 g/plant (K = 0,84 p. 100). Les teneurs en calcium et en magnésium des aiguilles augmentent proportionnellement aux doses des engrais qui contiennent ces deux éléments. Toutefois, les additions de potassium produisent un effet négatif sur l'absorption du calcium tandis que le magnésium est favorisé par les traitements au superphosphate triple. Dans l'ensemble, les analyses foliaires réflètent les déficiences du sol en magnésium et en calcium dans les plantations Lanctôt et en magnésium chez Lettre.

Les augmentations de l'azote foliaire sont moins précises à cause du stress auquel ont été soumis les plants traités avec les engrais azotés et dont plusieurs n'ont pas survécus. D'ailleurs, les aiguilles contiennent abondamment d'azote et les valeurs obtenues pour

celles de la troisième saison de croissance (2,39 p. 100) tendent vers l'excès ou la consommation de luxe; dans ce cas-là, les réactions sont moins évidentes.

À la fin de la troisième saison de croissance, les teneurs en phosphore, potassium et magnésium demeurent sensiblement plus élevées pour les arbres fertilisés, comparativement au témoin; les écarts tendent cependant à diminuer.

Les traitements d'engrais ont tous eu, à divers degrés, un effet positif sur les croissances de la flèche terminale, des ramilles latérales-terminales et des ramilles adventives. Pour ces trois caractéristiques, le modèle des réactions est semblable dans les quatre plantations; seules les amplitudes de réaction diffèrent en regard des qualités de stations. Ainsi, les meilleurs accroissements ont été obtenus dans les plantations de chez Lettre et sont dus à des sols plus fertiles dotés de meilleures propriétés physico-chimiques et où les disponibilités de l'eau et des éléments nutritifs sont plus élevés.

Dans l'ensemble, l'effet des engrais sur la croissance est nul la première année tandis qu'il y a amorce de réaction en deuxième saison. Ce n'est qu'au cours de la troisième année qu'il est possible de mesurer un effet positif et significatif de certains traitements de fertilisation sur les accroissements. D'ailleurs, les croissances obtenues au cours de la troisième saison sont égales ou supérieures aux croissances combinées des deux années antérieures.

Pour les engrais qui ont le plus favorisé les accroissements de la flèche terminale, des ramilles latérales-terminales et des ramilles adventives, les doses d'éléments varient entre 10 et 20 g d'azote et de phosphore pour 10 g de potassium. Les traitements dont les effets ont été significatifs ont tous été répétés en début de chaque saison de croissance.

La formation (nombre) de certaines parties de la cime n'est pas tellement influencée par la fertilisation au cours des premières années d'établissement de la plantation; ce sont les conditions

physiologiques des plants qui régissent leur développement au cours de cette période. Bien entendu, les sols de chez Lettre à Stanstead favorisent une meilleure reprise et un établissement plus rapide des arbres transplantés, ce qui est confirmé par un meilleur développement et une réaction plus hâtive aux traitements dans ces plantations. Ainsi, des réactions ont été notées à la suite de la fertilisation, sur la formation du nombre de ramilles latérales-terminales, de ramilles adventives et de bourgeons apicaux. Il n'a cependant pas été possible de faire ressortir les traitements en cause parce que les résultats sont très variables et le plus souvent inconstants; cependant, les traitements répétés au cours des trois saisons auraient tendance à favoriser le développement de ces parties de la tige.

Les nombres de bourgeons apicaux et surtout adventifs sont plus élevés à la suite des traitements répétés et contenant entre autres du phosphore (20 à 40 g/plant). Des effets significatifs ont été observés et attribués à de tels traitements dans les plantations de chez J.-M. Lettre; d'ailleurs, Hughes *et al.* (1971) signalent un effet bénéfique du phosphore sur le développement des bourgeons adventifs. Le potassium semble sans effet.

Le rapport du nombre de bourgeons adventifs par centimètre de flèche terminale indique que la formation de ceux-ci n'est pas proportionnelle à l'accroissement de celle-là. Ce rapport tend à diminuer au cours de la période d'établissement. Il est toutefois encourageant de constater une augmentation au cours de la troisième saison. Les traitements à dominance de phosphore favorisent un rapport plus élevé, mais de façon non significative sur le plan statistique; ainsi, les producteurs devraient tendre à utiliser les engrais qui affectent la formation et le développement des bourgeons adventifs au détriment de la croissance de la flèche terminale. L'augmentation du nombre de ramilles adventives se traduira par une plus grande densité de la cime.

RECOMMANDATIONS

Pour la région concernée et à la lumière des résultats décrits dans le présent mémoire, la décision de planter une station donnée avec du sapin baumier en vue de le cultiver comme arbre de Noël sera influencée par les aspects suivants.

1- Une station qui convient très bien au sapin, caractérisée par un terrain libre de broussailles, plutôt plat mais avec une légère pente, sans être trop exposé au vent ou trop accidenté afin d'éviter l'érosion, les accumulations de neige et les gelées localisées (trous de gel) et de faciliter l'utilisation de la machinerie.

2- Des résultats favorables de l'analyse physico-chimique du sol, effectuée avant la plantation pour la couche de sol située entre 0 et 20 cm sous la surface. Les principales caractéristiques d'un sol qui convient très bien aux exigeances du sapin sont les suivantes.

   2.1- Au point de vue granulométrie, un loam sableux, bien structuré, avec bon drainage, est préférable à un sol sableux, fortement drainé et trop sec.

   2.2- Une teneur en matière organique variant de 3 à 6 p. 100 et un pH optimal de 5,5 à 6,0 (Jablanczy, 1971).

   2.3- Des teneurs en éléments nutritifs qui se rapprochent des valeurs suivantes:

   - pour l'azote total: 0,12 p. 100 (3 600 kg/ha)[1]

---

[1] Les quantités en kg/ha sont calculées pour un sol d'une densité moyenne de 1,5 g/cm^3 sur une profondeur de 20 cm.

- pour le phosphore disponible: 75 à 100 ppm (225 à 300 kg/ha)
- pour le potassium échangeable: 80 ppm (240 kg/ha)
- pour le calcium échangeable: 300 ppm (900 kg/ha)
- pour le magnésium échangeable: 75 ppm (225 kg/ha).

Les amendements pour corriger le pH du sol ainsi que les teneurs en éléments nutritifs tels que le phosphore, le potassium, le magnésium et le calcium devront se faire avant la plantation, avec enfouissement. Il en sera de même si des amendements organiques sont nécessaires, non seulement pour équilibrer le bilan humique mais aussi pour améliorer et maintenir la fertilité. Les corrections au drainage seront faites au même moment.

La fertilisation azotée est déconseillée au moment de la plantation ainsi que durant la période d'établissement qui couvre au moins les deux premières saisons de croissance. À ce moment-là, il sera possible d'effectuer les amendements en phosphore et en potassium, si ces derniers n'ont pas été appliqués avant la mise en terre. Les doses ne devront pas dépasser 20 g/plant pour le phosphore et 10 g/plant pour le potassium. Pour les engrais commerciaux à formule complète, du type démarreur, la dose d'azote ne devra pas dépasser 5 g/plant; ainsi, les engrais 7-27-12 et 5-18-10 seraient appliqués au taux maximal de 50 g/plant.

À compter de la troisième année, la dose d'azote pourra atteindre 10 g/plant tandis que le taux de phosphore devrait diminuer. Les formules 8-4-13, 10-10-10 et 13-13-13, appliquées aux taux de 100 g/plant, conviendront très bien. Les traitements pourront être répétés sur une base annuelle tandis que les doses seront augmentées avec l'âge des arbres. Ces derniers aspects ont fait l'objet d'une autre recherche dont le rapport sera rédigé prochainement; il traitera de effets de la fertilisation à compter de la quatrième saison de croissance.

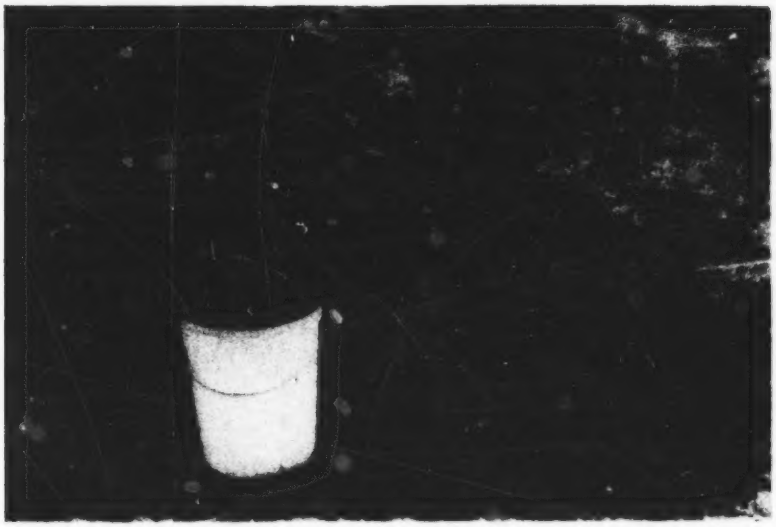

Figure 3 Plantation effectuée à la pelle avec des espacements de 1,83 mètre entre les rangées et de 1,52 mètre entre les plants d'une même rangée.

Figure 4 Aspect de la plantation au début de la première saison de croissance, après l'utilisation d'un herbicide composé de simazine et d'atrazine.

Figure 5 Plant repiqué (2-3) nouvellement mis en terre, d'une hauteur moyenne de 18,4 cm.

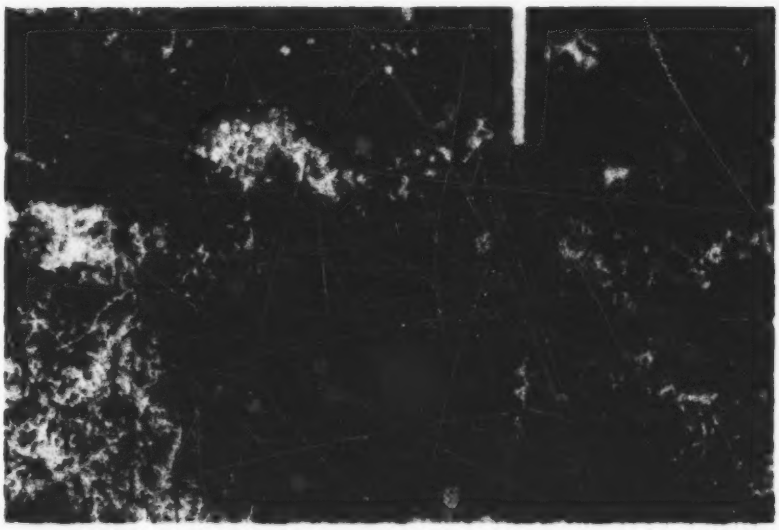

Figure 6 Un jeune arbre de Noël à la fin de sa troisième saison de croissance en plantation; à Compton, il atteint une hauteur moyenne de 46,3 cm (36,6 à 59,6 cm) comparativement à 59,5 cm (49,4 à 74,1 cm) à Stanstead.

Figure 7 La plantation Emery Lanctôt (Compton) après sept saisons de croissance présente des arbres qui atteignent 1,60 mètre de hauteur, de densité moyenne (branches et aiguilles) et dont la forme montre une conicité normale.

Figure 8 La plantation J.-M. Lettre (Stanstead) après sept saisons de croissance, exhibe des arbres qui dépassent 1,80 mètre, de densité abondante, d'un feuillage vert foncé et d'une conicité forte.

BIBLIOGRAPHIE

ANONYME, 1976. *Inventaire des terres du Canada. Possibilité des terres pour la forêt. Territoire de Sherbrooke, 21E.* Env. Canada, Dir. Gén. Terres.

ANONYME, 1978. *Effets de la fertilisation des résineux.* AFOCEL-ARMEF, Informations - Forêts, fasc. n° 115 (4): 179-186.

BRAZEAU, M. et B. BERNIER, 1973. *Composition minérale du sapin baumier selon les modalités d'échantillonnage et relations avec quelques indices de croissance.* Nat. Can., Vol. 100: 265-275.

BRUNS, P.E., 1973. *Cultural practices, fertilizing and foliar analysis of balsam fir Christmas trees.* New Hampshire Agric. Exp. Sta., Sta. Bull. 501, 30 p.

DeCHAMPS, J., 1982. *La fertilisation des plantations résineuses - Fertilisation à la plantation.* AFOCEL-ARMEF, Informations-Forêt, Fasc. 207 (4): 301-327.

DIRKMAN, J.-A., 1977. *Optimizing fertilization and shearing of balsam fir on a silt loam site.* Amer. Christmas Tree Journ. 21 (3): 14-17.

DUMOULIN, J., 1974. *La culture des arbres de Noël.* Min. Terres et Forêts, Serv. Inf., Publ. TF1-C12, 31 p.

EMBREE, D.G. et G.F. ESTABROOKS, 1981. *Fertilizing balsam fir Christmas trees in wild stands.* Env. Can., Can. For. Serv., Mar. For. Res. Cent., Techn. Note No. 25, 4 p.

HUGHES, R.H., J.E. JACKSON et R.H. HART, 1971. *Fertilization of young longleaf pine in a cultivated plantation.* U.S.D.A., For. Serv., Res. Pap. SE-75, 8 p.

JABLANCZY, A., 1971. *Use of lime for tree cultivation.* Amer. Christmas Tree Journ., Vol. 15: 21-23.

JACOBSEN, G.L., R.A. THOMPSON et R.A. RYKER, 1980. *Effects of nitrogen and phosphorus fertilizers on planted ponderosa pine in west-central Idaho.* U.S.D.A., For. Range Exp. Sta., Res. Note Int-296, 5 p.

LAMARRE, R., 1983. Communication personnelle. M.E.R., Serv. Pép. et Rebois.

MORRISON, I.K., 1974. *Within-tree variation in mineral content of leaves of young balsam fir.* Forest Science, Vol. 20: 276-278.

PIERPOINT, G., 1962. *Soil moisture, an important factor in the establishment and early growth of conifer plantations.* Ontario Dept. Lands For., Res. Branch, Res. Inf. Pap. No. 16, 17 p.

ROWE, J.S., 1972. *Les régions forestières du Canada.* Min. Env., Serv. Can. For., Publ. n° 1300 F, 172 p.

SAUNDERS, G.L. et L.L. WRIGHT, 1967. *Higher Christmas tree profits by fertilizing balsam fir.* Nova Scotia Dept. Lands and Forests, Extension Division, Ext. Note n° 42, 10 p.

STIELL, W.M. et C.R. STANTON, 1974. *Introduction à la culture des arbres de Noël au Canada.* Env. Can., Serv. Can. For., Publ. n° 1330 F, 32 p.

THOMAS, R.L., R.W. SHEARD et J.P. MOYER, 1971. *Comparison of conventional and automated procedures for nitrogen, phosphorus and potassium analysis of plant material using a single digestion.* Agronomy Journal, Vol. 59: 240-243.

TIMMER, V.R., E.L. STONE et D.G. EMBREE, 1977. *Growth response of young balsam fir fertilized with nitrogen, phosphorus, potassium and lime.* Can. Journ. For. Res.: 7 441-446.

VEILLEUX, J.-M. 1976. *Évolution de la nutrition minérale dans des sapinières fertilisées.* Min. Terres et Forêts du Québec, Dir. Gén. For., Serv. Rech., Rapp. int. n° 164, 104 p.

WALSH, L.M., 1971. *Instrumental methods for analysis of soils and plant tissue.* Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, U.S.A.

WILDE, S.A. et G.K. VOIGT, 1972. *Munsell color charts for plant tissues.* Munsell Color Division, Baltimore, Maryland, U.S.A.

ANNEXES

Annexe 1

Taux moyens de survie (p. 100) obtenus après trois ans. Résultats combinés par endroit et pour les quatre plantations

Traitements[1] Engrais simples Élément en g/plant N-P-K		Taux de survie p. 100			Traitement[5] d'engrais commerciaux g/plant $N-P_2O_5-K_2O$	Taux de survie p. 100		
		Lanctôt	Lettre	Moyenne		Lanctôt	Lettre	Moyenne
1	Témoin (0-0-0)	81,3	92,5	86,9	26 50 g (10-10-10)+	83,8	90,0	86,9
2	10- 0- 0	75,0	87,5	81,2	27 100 g (10-10-10)+	70,0	86,3	78,1
3	40- 0- 0	67,5	77,9	73,1	28 200 g (10-10-10)+	53,8	81,3	67,5
4	0-10- 0	86,3	80,0	83,1	29 400 g (10-10-10)+	52,5	86,3	69,4
5	0-20- 0	76,2	90,0	83,1	30* 100 g (10-10-10)+	71,3	83,8	75,5
6	0-40- 0	90,0	76,3	83,1	31 50 g (7-27-12)+	85,0	95,0	90,0
7	0- 0-10	85,0	92,5	88,7	32 100 g (7-27-12)+	72,5	90,0	81,2
8	0- 0-20	82,5	88,8	85,6	33 200 g (7-27-12)+	70,0	91,3	80,6
9	10-20- 0	73,8	86,3	80,0	34 400 g (7-27-12)+	35,0	78,8	61,9
10	10-20-10	83,8	81,3	82,5	35* 100 g (7-27-12)+	78,8	90,0	84,4
11	10-40-10	67,5	70,0	68,5	36 50 g (7-27-12)	80,0	82,5	81,2
12	20-40-10	70,0	85,0	77,5	37 100 g (7-27-12)	67,5	92,5	80,0
13	10-10-10	78,8	83,8	81,2	38 200 g (7-27-12)	75,0	82,5	78,7
14	20-20-20	67,5	91,3	79,4	39 400 g (7-27-12)	45,0	87,5	66,2
15	40-40-40	72,5	87,5	80,0	40* 100 g (7-27-12)	71,3	85,0	78,1
16*	20-20-20	66,3	81,3	73,7	41 50 g (5-18-10)+	81,3	96,3	88,7
17*	10-20-10	72,5	85,0	78,7	42 100 g (5-18-10)+	80,0	90,0	85,0
18*	20-40-10	66,3	83,8	75,0	43 200 g (5-18-10)+	77,5	91,3	84,4
19	20-20-10	91,3	87,5	89,4	44 400 g (5-18-10)+	62,5	88,8	76,5
20[2]	(20)-20-10	81,3	87,5	84,4	45* 100 g (5-18-10)+	77,5	85,0	81,2
21[3]	(20)-20-10	86,3	88,8	87,5	46 50 g (13-13-13)+	87,5	87,5	87,5
22[4]	10-20-10	68,8	87,5	78,1	47 100 g (13-13-13)+	75,0	85,0	80,0
23[4]	20-40-10	70,0	78,8	74,4	48 200 g (13-13-13)+	58,8	86,2	72,5
24*[4]	10-10-10	77,5	92,5	85,0	49 400 g (13-13-13)+	51,3	78,8	65,0
25*[4]	20-20-20	62,5	83,8	73,1	50* 100 g (13-13-13)+	68,8	80,0	74,4
					Moyenne	72,7	86,0	79,4

[1] Les traitements marqués d'un astérisque ont été répétés au printemps des deuxième et troisième années.
[2] Les 20 g/plant d'azote ont été ajoutés au printemps de la deuxième année.
[3] Les 20 g/plant d'azote ont été ajoutés au printemps de la troisième année.
[4] Azote sous forme d'urée; potassium sous forme de sulfate de potasse.
[5] +: Engrais commerciaux additionnés d'éléments mineurs: Mg, Mn, B, Ca, S, Zn.

Annexe 2

Longueurs moyennes (mm) des aiguilles de l'année courante, obtenues dans l'ensemble des quatre plantations, à la fin de la deuxième saison de croissance

Engrais simples élément - g/plant[1] N-P-K	Longueur d'aiguilles mm	Engrais commerciaux[4] g/plant $N-P_2O_5-K_2O$	Longueurs d'aiguilles mm
1 - Témoin(0-0-0)	20,6	26 - 50 g (10-10-10)+	20,2
2 - 10- 0- 0	21,2	27 - 100 g (10-10-10)+	19,3
3 - 40- 0- 0	20,4	28 - 200 g (10-10-10)+	20,3
4 - 0-10- 0	21,2	29 - 400 g (10-10-10)+	19,9
5 - 0-20- 0	20,1	30*- 100 g (10-10-10)+	20,0
6 - 0-40- 0	22,4	31 - 50 g (7-27-12)+	20,0
7 - 0- 0-10	21,7	32 - 100 g (7-27-12)+	20,7
8 - 0- 0-20	20,3	33 - 200 g (7-27-12)+	20,3
9 - 10-20- 0	21,8	34 - 400 g (7-27-12)+	18,1
10 - 10-20-10	20,6	35*- 100 g (7-27-12)+	19,8
11 - 10-40-10	23,0	36 - 50 g (7-27-12)	21,2
12 - 20-40-10	20,9	37 - 100 g (7-27-12)	20,0
13 - 10-10-10	20,8	38 - 200 g (7-27-12)	20,3
14 - 20-20-20	20,5	39 - 400 g (7-27-12)	19,8
15 - 40-40-40	20,8	40*- 100 g (7-27-12)	20,6
16* - 20-20-20	20,0	41 - 50 g (5-18-10)+	19,9
17* - 10-20-10	22,0	42 - 100 g (5-18-10)+	22,1
18* - 20-40-10	21,9	43 - 200 g (5-18-10)+	19,7
19 - 20-20-10	21,9	44 - 400 g (5-18-10)+	20,7
20[1] - (20)-20-10	21,8	45*- 100 g (5-18-10)+	20,8
21[1] - (20)-20-10	20,0	46 - 50 g (13-13-13)+	21,1
22[3] - 10-20-10	20,0	47 - 100 g (13-13-13)+	21,7
23[3] - 20-40-10	20,8	48 - 200 g (13-13-13)+	17,7
24[3]*- 10-10-10	22,9	49 - 499 g (13-13-13)+	20,1
25[3]*- 20-20-20	21,6	50*- 100 g (13-13-13)+	18,3

* Les traitements marqués d'un astérisque ont été répétés au printemps des deuxième et troisième années.

1 Les 20 g/plant d'azote ont été ajoutés au printemps de la deuxième année.

2 Les 20 g/plant d'azote ont été ajoutés au printemps de la troisième année.

3 Azote sous forme d'urée; potassium sous forme de sulfate de potasse.

4 +: Présence d'un certain nombre d'éléments mineurs: Mg, Ca, S, B.

Annexe 3

Concentration moyenne (p. 100)[1] en éléments nutritifs des aiguilles de l'année courante à la fin des deuxième et troisième saisons de croissance après la fertilisation, selon les traitements. Résultats moyens des quatre plantations

Traitement g/plant (N-P-K)	Concentration des éléments (p. 100)									
	Azote (N)		Phosphore (P)		Potassium (K)		Calcium (Ca)		Magnésium (M)	
	(2)[2]	(3)[3]	(2)	(3)	(2)	(3)	(2)	(3)	(2)	(3)
1 - 0- 0- 0 (Témoin)	2,03	2,31	0,26	0,27	0,64	0,64	0,70	0,76	0,064	0,060
2 - 10- 0- 0	2,13	2,23	0,27	0,29	0,66	0,64	0,73	0,77	0,061	0,056
3 - 40- 0- 0	2,05	2,30	0,27	0,28	0,63	0,63	0,65	0,73	0,061	0,056
4 - 0-10- 0	2,18	2,27	0,31	0,30	0,64	0,64	0,77	0,77	0,071	0,066
5 - 0-20- 0	2,03	2,28	0,33	0,31	0,60	0,59	0,80	0,83	0,076	0,059
6 - 0-40- 0	2,10	2,20	0,36	0,33	0,63	0,63	0,82	0,81	0,079	0,064
7 - 0- 0-10	2,12	2,38	0,28	0,29	0,82	0,72	0,54	0,62	0,056	0,052
8 - 0- 0-20	2,10	2,30	0,27	0,29	0,84	0,72	0,56	0,57	0,064	0,052
9 - 10-20- 0	2,09	2,35	0,32	0,33	0,60	0,65	0,76	0,83	0,073	0,067
10 - 10-20-10	2,25	2,39	0,34	0,34	0,81	0,74	0,64	0,67	0,063	0,061
11 - 10-40-10	2,06	2,45	0,32	0,35	0,75	0,72	0,68	0,68	0,067	0,067
12 - 20-40-10	2,11	2,30	0,36	0,35	0,78	0,73	0,74	0,64	0,072	0,069
13 - 10-10-10	2,17	2,36	0,32	0,32	0,80	0,73	0,65	0,63	0,063	0,058
14 - 20-20-20	2,16	2,42	0,32	0,32	0,79	0,76	0,62	0,64	0,061	0,061
15 - 40-40-40	2,14	2,51	0,34	0,36	0,79	0,77	0,64	0,63	0,067	0,062
16* - 20-20-20	2,25	2,51	0,28	0,31	0,72	0,63	0,66	0,59	0,060	0,056
17* - 10-20-10	2,22	2,35	0,31	0,30	0,77	0,72	0,75	0,71	0,071	0,067
18* - 20-40-10	2,30	2,40	0,33	0,29	0,66	0,62	0,77	0,77	0,073	0,068
19 - 20-20-10	2,32	2,45	0,30	0,35	0,72	0,77	0,69	0,76	0,065	0,068
20 - (20)-20-10	2,28	2,54	0,29	0,24	0,71	0,56	0,70	0,76	0,064	0,061
21 - (20)-20-10	2,20	2,44	0,32	0,34	0,77	0,74	0,66	0,70	0,068	0,071
22[4] - 10-20-10	2,06	2,41	0,33	0,33	0,74	0,75	0,66	0,73	0,072	0,071
23[4] - 20-40-10	2,13	2,48	0,34	0,34	0,72	0,75	0,69	0,70	0,074	0,070
24[4]* - 10-10-10	2,19	2,44	0,30	0,30	0,78	0,72	0,60	0,65	0,068	0,064
25[4]* - 20-20-20	2,30	2,40	0,29	0,29	0,74	0,72	0,60	0,63	0,064	0,063

[1] Moyenne de quatre plantations.
[2](2) Données de la 2e saison de croissance.
[3](3) Données de la 3e saison de croissance.
[4] Urée et sulfate de potassium au lieu du nitrate d'ammonium et du muriate de potassium.
* Traitement répété sur une base annuelle.

Annexe 3 (suite)

Concentration moyenne (p. 100) en éléments nutritifs des aiguilles de l'année courante à la fin des deuxième et troisième saisons de croissance après la fertilisation, selon les traitements. Résultats moyens des quatre plantations

Traitement g/plant (N-P_2O_5-K_2O)	Concentration des éléments (p. 100)									
	Azote (N)		Phosphore (P)		Potassium (K)		Calcium (Ca)		Magnésium (M)	
	(2)[2]	(3)[3]	(2)	(3)	(2)	(3)	(2)	(3)	(2)	(3)
26 - (10-10-10)+[2] 50 g	2,07	2,36	0,27	0,30	0,68	0,70	0,67	0,70	0,072	0,065
27 - (10-10-10)+ 100 g	2,15	2,36	0,30	0,30	0,77	0,71	0,63	0,65	0,074	0,069
28 - (10-10-10)+ 200 g	2,20	2,33	0,30	0,31	0,74	0,74	0,62	0,62	0,069	0,069
29 - (10-10-10)+ 400 g	2,29	2,38	0,32	0,31	0.74	0,71	0,65	0,62	0,076	0,070
30*[1] - (10-10-10)+ 100 g	2,24	2,45	0,27	0,29	0,70	0,73	0,64	0,59	0,078	0,074
31 - (7-27-12)+ 50 g	2,11	2,44	0,31	0,32	0,76	0,78	0,59	0,61	0,088	0,078
32 - (7-27-12)+ 100 g	2,19	2,64	0,33	0,34	0,75	0,75	0,55	0,61	0,094	0,085
33 - (7-27-12)+ 200 g	2,22	2,44	0,34	0,33	0,78	0,77	0,55	0,55	0,092	0,082
34 - (7-27-12)+ 400 g	2,06	2,40	0,34	0,36	0,74	0,68	0,54	0,54	0,109	0,090
35* - (7-27-12)+ 100 g	2,23	2,39	0,29	0,32	0,76	0,80	0,56	0,54	0,096	0,087
36 - (7-27-12) 50 g	2,23	2,59	0,31	0,33	0,75	0,77	0,66	0,60	0,064	0,065
37 - (7-27-12) 100 g	2,12	2,44	0,29	0,32	0,76	0,78	0,64	0,70	0,064	0,067
38 - (7-27-12) 200 g	2,17	2,40	0,34	0,33	0,83	0,82	0,61	0,60	0,067	0,067
39 - (7-27-12) 400 g	2,20	2,42	0,35	0,33	0,81	0,72	0,61	0,61	0,065	0,068
48* - (7-27-12) 100 g	2,07	2,41	0,29	0,33	0,73	0,79	0,64	0,64	0,063	0,069
41 - (5-18-10)+ 50 g	2,12	2,46	0,30	0,31	0,72	0,79	0,65	0,68	0,082	0,071
42 - (5-18-10)+ 100 g	2,10	2,45	0,32	0,31	0,74	0,75	0,67	0,66	0,090	0,072
43 - (5-18-10)+ 200 g	2,15	2,48	0,34	0,31	0,76	0,70	0,63	0,64	0,093	0,077
44 - (5-18-10)+ 400 g	2,18	2,46	0,34	0,33	0,80	0,70	0,59	0,69	0,098	0,078
45* - (5-18-10)+ 100 g	2,17	2,47	0,30	0,32	0,79	0,67	0,61	0,62	0,103	0,088
46 - (13-13-13)+ 50 g	2,11	2,39	0,31	0,29	0,76	0,73	0,57	0,61	0,086	0,081
47 - (13-13-13)+ 100 g	2,15	2,44	0,32	0,33	0,78	0,75	0,60	0,52	0,088	0,086
48 - (13-13-13)+ 200 g	2,21	2,42	0,30	0,32	0,78	0,76	0,53	0,55	0,092	0,087
49 - (13-13-13)+ 400 g	2,21	2,36	0,33	0,31	0,77	0,77	0,53	0,43	0,102	0,096
50* - (13-13-13)+ 100 g	2,21	2,41	0,26	0,27	0,70	0,72	0,54	0,52	0,091	0,090

[1]* Traitement répété annuellement.

[2]+ Engrais contenant des éléments mineurs: Mg, Ca, S, B, etc.

Annexe 4

Sommation des accroissements (cm) et de la formation des bourgeons et ramilles (nombre/cime) au cours des trois premières années qui ont suivi la fertilisation[1]
Résultats moyens des quatre plantations

Traitement d'engrais simples[2] g/plant, N-P-K	Accroissements en longueurs (cm)			Formation des bourgeons et ramilles (nombre/cime)				
	Flèche terminale	Ramilles lat.-term.	Ramilles adventives	Bourgeons apicaux	Bourgeons adventifs	N. bourg. adv./cm	Ram. lat. term.	Ram. adv.
1 - Témoin (0-0-0)	23,7	24,9	9,0	9,6	19,2	0,81	9,0	10,4
2 - 10- 0- 0	23,1	25,2	9,6	9,6	20,4	0,88	8,4	10,2
3 - 40- 0- 0	26,7	26,7	9,6	10,5	22,2	0,83	9,0	9,6
4 - 0-10- 0	27,0	27,6	9,8	10,5	22,8	0,84	9,0	10,6
5 - 0-20- 0	24,0	26,1	9,0	10,2	21,3	0,89	9,3	10,8
6 - 0-40- 0	24,3	26,7	10,0	9,9	21,9	0,90	9,0	9,4
7 - 0- 0-10	26,4	25,8	9,2	9,6	21,3	0,81	8,7	10,0
8 - 0- 0-20	24,0	25,2	7,8	9,6	19,8	0,82	8,4	7,4
9 - 10-20- 0	25,5	26,4	9,6	10,2	22,2	0,87	9,3	10,0
10 - 10-20-10	29,7	28,8	9,8	10,8	24,6	0,83	9,3	11,0
11 - 10-40-10	28,8	28,8	10,8	10,8	24,0	0,83	9,0	11,2
12 - 20-40-10	31,5	29,7	11,2	10,8	27,6	0,88	8,7	13,0
13 - 10-10-10	28,2	27,3	10,2	10,5	23,7	0,84	8,7	11,4
14 - 20-20-20	30,3	29,4	11,2	10,5	23,7	0,78	9,3	12,6
15 - 40-40-40	35,1	31,5	11,4	10,8	28,2	0,80	9,3	12,2
16* - 20-20-20	37,8	33,0	12,4	11,4	31,8	0,84	9,3	12,8
17* - 10-20-10	37,2	33,9	12,4	11,4	30,6	0,82	9,0	11,2
18* - 20-40-10	34,2	32,4	12,6	11,1	29,7	0,87	9,3	13,6
19 - 20-20-10	33,0	30,9	10,8	11,1	26,4	0,80	8,7	10,4
20 - (20)-20-10	30,9	30,3	10,4	10,8	25,8	0,83	9,3	10,0
21 - (20)-20-10	28,5	30,0	10,2	10,5	23,1	0,81	9,0	11,6
22[3] - 10-20-10	27,9	28,5	11,0	9,9	22,8	0,82	9,0	12,2
23[3] - 20-40-10	29,4	28,5	10,8	10,2	24,3	0,83	9,0	11,8
24[3] - 10-10-10	33,3	30,9	11,6	10,8	28,5	0,86	9,0	12,6
25[3]* - 20-20-10	34,2	31,2	11,6	12,0	28,5	0,83	9,3	11,8

[1] Résultats moyens des quatre plantations.
[2]* Traitement répété annuellement.
[3] Application d'urée et de sulphate de potassium au lieu du nitrate d'ammonium et de muriate de potasse.

Annexe 4 (suite)

Sommation des accroissements (cm) et de la formation des bourgeons et des ramilles (nombre/cime) au cours des trois premières années qui ont suivi la fertilisation[1]
Résultats moyens des quatre plantations

Traitement d'engrais simples[2] g/plant, (N-P_2O_5-K_2O)	Accroissements en longueurs (cm)			Formation des parties de la tige (nombre/tige)				
	Flèche terminale	Ramilles lat.-term.	Ramilles adventives	Bourgeons apicaux	Bourgeons adventifs	N. bourg. adv./cm	Ram. lat. term.	Ram. adv.
26 - (10-10-10)+ 50 g	26,4	26,4	9,6	10,2	22,8	0,86	9,0	12,0
27 - (10-10-10)+ 100 g	31,2	30,0	10,8	10,5	25,5	0,82	9,0	11,6
28 - (10-10-10)+ 200 g	32,1	29,4	9,4	10,8	26,4	0,82	9,0	9,6
29 - (10-10-10)+ 400 g	30,3	29,4	11,8	10,8	25,5	0,84	8,4	12,4
30*- (10-10-10)+ 100 g	35,1	31,2	12,8	10,8	28,2	0,80	9,0	11,0
31 - (7-27-12)+ 50 g	29,4	29,4	10,6	10,8	24,0	0,82	9,0	11,4
32 - (7-27-12)+ 100 g	29,1	27,9	10,6	10,8	24,0	0,82	9,3	10,8
33 - (7-27-12)+ 200 g	32,7	30,9	11,0	11,1	27,6	0,84	9,0	11,6
34 - (7-27-12)+ 400 g	28,8	27,0	10,6	9,9	24,6	0,85	8,4	13,2
35*- (7-27-12)+ 100 g	33,0	31,5	12,0	11,4	28,5	0,86	9,0	12,4
36 - (7-27-12) 50 g	27,0	27,9	11,0	10,2	21,9	0,81	8,4	10,4
37 - (7-27-12) 100 g	30,3	27,6	10,4	10,8	25,5	0,84	9,3	12,6
38 - (7-27-12) 200 g	29,1	28,2	10,6	10,5	24,0	0,82	9,0	11,2
39 - (7-27-12) 400 g	30,3	29,1	10,4	10,8	25,8	0,85	9,0	12,6
40*- (7-27-12) 100 g	33,1	30,6	10,8	10,5	27,0	0,82	8,4	12,4
41 - (5-18-10)+ 50 g	29,1	28,8	9,8	10,8	22,8	0,78	9,6	11,4
42 - (5-18-10)+ 100 g	29,4	29,7	10,8	10,5	24,3	0,83	9,0	13,0
43 - (5-18-10)+ 200 g	33,6	29,4	11,6	11,4	26,1	0,78	9,6	14,6
44 - (5-18-10)+ 400 g	33,0	30,0	10,8	11,1	26,7	0,81	9,3	10,8
45*- (5-18-10)+ 100 g	36,6	31,5	12,0	11,4	29,7	0,81	9,0	12,4
46 - (13-13-13)+ 50 g	29,4	28,2	10,6	10,5	24,0	0,82	9,3	12,8
47 - (13-13-13)+ 100 g	28,5	27,6	10,2	10,2	22,5	0,79	8,7	10,6
48 - (13-13-13)+ 200 g	30,0	28,5	11,2	10,2	24,0	0,80	8,7	10,6
49 - (13-13-13)+ 400 g	33,0	28,8	11,4	11,4	27,6	0,84	9,3	10,8
50*- (13-13-13)+ 100 g	34,2	31,5	12,0	10,8	26,7	0,78	9,3	11,0
Moyenne	30,3	29,1	10,6	10,5	24,9	0,82	9,0	11,4

[1] Résultats moyens des quatre plantations.
[2]* Traitement répété annuellement.
[3] Application d'urée et de sulphate de potassium au lieu du nitrate d'ammonium et de muriate de potasse.

Parution: septembre 1985

VEILLEUX, Jean-Marc

ISBN 2-550-12221-6

1985 ***Fertilisation de plantations de sapin baumier cultivé pour la production d'arbres de Noël. I - Essais au moment de la plantation***. Gouv. du Québec, min. de l'Énergie et des Ress., Serv. de la recherche. Mémoire n° 87. xv + 55 p. Résumé anglais, p. vii.

Ces essais démontrent que les taux de survie décroissent avec l'augmentation des doses d'engrais azotés, qui augmentent le stress à la plantation; ces applications sont donc à éviter au cours de la période d'établissement. Les croissances de la flèche terminale et des ramilles adventives et terminales ne sont pas affectées avant la troisième année de traitements même annuels. Le phosphore favorise la formation des bourgeons. Il est plus avantageux d'enfouir P, K et Mg et de corriger le pH en préparant le sol et de fournir l'azote la troisième année seulement au taux de 10 g par plant.

O.D.C. 281+232.425.1+114.5(047.3)(714)
L.C. SD 408 .A22

MER 5310-87

VEILLEUX, Jean-Marc

ISBN 2-550-12221-6

1985 *Fertilisation de plantations de sapin baumier cultivé pour la production d'arbres de Noël. I - Essais au moment de la plantation*. Gouv. du Québec, min. de l'Énergie et des Ress., Serv. de la recherche. Mémoire n° 87. xv + 55 p. Résumé anglais, p. vii.

Ces essais démontrent que les taux de survie décroissent avec l'augmentation des doses d'engrais azotés, qui augmentent le stress à la plantation; ces applications sont donc à éviter au cours de la période d'établissement. Les croissances de la flèche terminale et des ramilles adventives et terminales ne sont pas affectées avant la troisième année de traitements même annuels. Le phosphore favorise la formation des bourgeons. Il est plus avantageux d'enfouir P, K et Mg et de corriger le pH en préparant le sol et de fournir l'azote la troisième année seulement au taux de 10 g par plant.

O.D.C. 281+232.425.1+114.5(047.3)(714)
L.C. SD 408 .A22

MER 5310-87

VEILLEUX, Jean-Marc

ISBN 2-550-12221-6

1985 *Fertilisation de plantations de sapin baumier cultivé pour la production d'arbres de Noël. I - Essais au moment de la plantation (Fertilizing balsam fir plantations grown for Christmas tree production. I - Trials at the time of planting)*. Gouv. du Québec, min. de l'Énergie et des Ress., Serv. de la rech. *Mémoire* No. 87. In French (English abstract on p. vii).

These trials show that rates of survival diminish as nitrogen doses are increased and put a greater stress on the seedlings; hence these additions should be avoided during the establishment period. Growths of terminal spire and of terminal and adventive twigs were not affected before the third year of treatment, even on an annual basis. Phosphorus fosters bud formation. It would be more advantageous to bury P, K and Mg and to correct the pH when preparing the soil and to add nitrogen on the third year at the rate of 10 g per plant.

O.D.C. 281+232.425.1+114.5(047.3)(714)
L.C. SD 408 .A22

MER 5310-87

VEILLEUX, Jean-Marc

ISBN 2-550-12221-6

1985 *Fertilisation de plantations de sapin baumier cultivé pour la production d'arbres de Noël. I - Essais au moment de la plantation (Fertilizing balsam fir plantations grown for Christmas tree production. I - Trials at the time of planting)*. Gouv. du Québec, min. de l'Énergie et des Ress., Serv. de la rech. *Mémoire* No. 87. In French (English abstract on p. vii).

These trials show that rates of survival diminish as nitrogen doses are increased and put a greater stress on the seedlings; hence these additions should be avoided during the establishment period. Growths of terminal spire and of terminal and adventive twigs were not affected before the third year of treatment, even on an annual basis. Phosphorus fosters bud formation. It would be more advantageous to bury P, K and Mg and to correct the pH when preparing the soil and to add nitrogen on the third year at the rate of 10 g per plant.

O.D.C. 281+232.425.1+114.5(047.3)(714)
L.C. SD 408 .A22

MER 5310-87

Au Québec, l'importance économique des forêts privées n'est plus à démontrer. En effet, elles représentent 10 p. 100 de la superficie et 25 p. 100 des approvisionnements ligneux; elles constituent une source de revenu pour leurs propriétaires. Il est cependant nécessaire de mener des recherches en vue d'accroître non seulement la productivité et l'exploitation de la forêt privée, mais aussi le revenu des exploitants. Les recherches sur les arbres de Noël ont pour but d'en augmenter la qualité et de diminuer la période de production. Elles sont conduites par le Service de la recherche du ministère de l'Énergie et des Ressources en collaboration avec les propriétaires concernés et l'administration régionale du Ministère en Estrie.

Gouvernement du Québec
Ministère de l'Énergie et des Ressources
Service de la recherche (Terres et Forêts)

O.D.C. 281+232.425.1+114.5 (0.47.3) (714)
L.C. SD 408 .A22
MER 5310-87